

TESIS

**MODEL *JOINT ECONOMIC LOT SIZE* UNTUK SISTEM
PRODUKSI TIDAK SEMPURNA DENGAN PERMINTAAN
PROBABILISTIK, PERCEPATAN *LEAD-TIME*,
DAN LAYANAN *PICK-UP*
(STUDI KASUS: PT. EL-RAHMA BATIK & TITIN BATIK)**



NOVRIANTY RIZKY

19916028

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**MODEL *JOINT ECONOMIC LOT SIZE* UNTUK SISTEM
PRODUKSI TIDAK SEMPURNA DENGAN PERMINTAAN
PROBABILISTIK, PERCEPATAN *LEAD-TIME*,
DAN LAYANAN *PICK-UP*
(STUDI KASUS: PT. EL-RAHMA BATIK & TITIN BATIK)**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Magister Teknik (M.T.)**

**Pada Program Studi Magister Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**

Disusun Oleh:

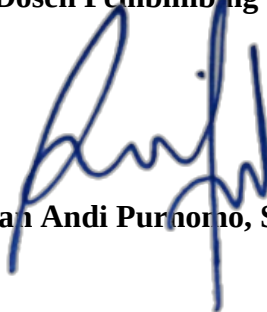
Novrianty Rizky

19916028

Yogyakarta, 22 Desember 2021

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**MODEL *JOINT ECONOMIC LOT SIZE* UNTUK SISTEM
PRODUKSI TIDAK SEMPURNA DENGAN PERMINTAAN
PROBABILISTIK, PERCEPATAN *LEAD-TIME*,
DAN LAYANAN *PICK-UP*
(STUDI KASUS: PT. EL-RAHMA BATIK & TITIN BATIK)**



Disusun Oleh:

Nama : Novrianty Rizky

No. Mahasiswa : 19916028

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji

Yogyakarta, 07 Januari 2022

TIM PENGUJI

Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D.

Ketua

Dr. Ir. Elisa Kusriani, M.T., CPIM, CSCP

Anggota I

Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc.

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Magister
Fakultas Teknologi Industri



Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D.

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini asli dari penulis dan tidak berisi material yang telah diterbitkan sebelumnya atau tulisan dari penulis lain terkecuali referensi atau material tersebut telah disebutkan dalam tesis ini. Apabila ada kontribusi dari penulis lain dalam tesis ini, maka penulis lain tersebut secara eksplisit telah disebutkan dalam tesis ini.

Dengan ini saya menyatakan bahwa segala kontribusi dari pihak lain terhadap tesis ini, termasuk bantuan statistik, desain survei, analisis data, prosedur teknis yang bersifat signifikan, dan segala bentuk aktivitas penelitian yang digunakan atau dilaporkan dalam tesis ini telah secara eksplisit elah disebutkan dalam tesis ini.

Segala bentuk hak cipta yang terdapat dalam material dokumen tesis ini berada dalam kepemilikan hak cipta masing-masing. Apabila dibutuhkan, penulis telah mendapatkan izin dari pemilik hak cipta untuk menggunakan ulang materialnya dalam tesis ini.

Yogyakarta, 07 Januari 2022

Novrianty Rizky, S.T.



HALAMAN PERSEMBAHAN



Sembah sujud serta syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Taburan cinta dan kasih sayang-Mu telah memberikanku kekuatan, membekaliku dengan ilmu serta memperkenalkanku dengan cinta. Atas karunia serta kemudahan yang Engkau berikan akhirnya tesis ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam selalu terlimpahkan keharibaan Rasulullah Muhammad Shalallaahu 'Alayhi Wasallam. Kupersembahkan karya sederhana ini kepada orang yang sangat kukasihi dan kusayangi.

Mama dan PapaTercinta

Sebagai tanda bakti, hormat dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada mama (Ibu Afridarwaty) dan Papa (Bapak Syafrial) yang telah memberikan kasih sayang, secara dukungan, ridho, dan cinta kasih yang tiada terhingga. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat Mama dan Papa bahagia karena selama ini masih belum bisa berbuat lebih. Mama dan Papa yang selalu membuatku termotivasi dan selalu memberiku kasih sayang, mendoakanku, menasehatiku serta meridhoiku melakukan hal yang lebih baik, Terimakasih Mah... Terima kasih Pah... Terima Kasih Ya Allah telah memilihkan orangtua yang terbaik untukku untuk terlahir di dunia.

Mama dan Papa MertuaTercinta

Kupersembahkan sebuah karya kecil untuk mertuaku Ibu Darni dan Bapak Agus Y. Parlan (Alm). Kepada Papa Agus Y. Parlan (Alm) yang telah memberikan kasih sayang, dukungan, ridho, dan cinta kasih yang tiada terhingga dari awal pertemuan hingga mendekati akhir tesis ini selesai karena Allah lebih menyayangi papa, terima kasih banyak pah, Bismillah dengan ridhomu Ya Allah ijinkan hamba bisa membuat beliau disana tersenyum dan bangga meraih kehidupan bahagia dunia dan akhirat meskipun raganya tak terlihat lagi di hadapanku tapi kasih sayangnya

diletakkan penuh untuk kami anak-anaknya, terima kasih Pah sudah selalu datang menemui kami anaknya melalui mimpi yang di ridhoi Allah, seperti yang tertulis di QS. Az-Zumar Ayat 42. Terima kasih mertuaku.

Suamiku Yang kucintai karena Allah

Terima kasih suamiku telah hadir dalam kehidupanku dan selalu memberikan semangat, perhatian dan kasih sayang yang tidak pernah putus terutama dalam menempuh dan menyelesaikan tesis ini. Terima kasih atas doa-doa yang telah dipanjatkan diantara lelahmu dalam mencari nafkah untuk keluarga kecil kita. Kupersembahkan karya kecil ini untuk suamiku yang patner dalam kehidupanku insyaa Allah sampai Jannah, bismillah semoga ini adalah awal mewujudkan cita-cita kita dunia dan akhirat. I Love Uda ☺

Kakak, adik-adik dan Orang terdekatku

Sebagai tanda terima kasih, aku persembahkan karya kecil ini untuk kakak dan adikku tersayang (Andrie Salam dan Nur Sheilla Alda) dan seluruh keluarga besarku yang ada di padang maupun dipalembang. Terima kasih telah memberikan semangat dan inspirasi dalam menyelesaikan tesis ini. Semoga doa yang dipanjatkan menjadikanku lebih baik lagi kedepannya

Dosen Pembimbing Tesis

Bapak Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing tesis saya, terima kasih banyak sudah membantu selama ini dalam memberikan arahan, nasehat, dan bimbingannya sampai tesis ini selesai dalam waktu luang di waktu sibuknya beliau, sehat dan bahagia selalu untuk Bapak dan keluarga

Teman Angkatan 28 MTI UII/ Teman kantor/Sahabat

Buat karwan-karwanku yang selalu memberikan motivasi, nasihat, dukungan serta doa yang selalu membuatku semangat untuk menyelesaikan tesis ini (Mas Agam, Mas Indrawan, Mas Rendi, Mas Arul, Mas Abdul, Mba Windi) dan karwan kelas reguler maupun kakak angkatan dan untuk Pak Dody, Uly, Mba Nita, serta Wawan dan juga Genk Puspa Indahku, dan para sahabatku yang tak bisa kusebutkan satuper satu. Terima kasih karwan-karwanku, kalian telah memberikan banyak hal yang tak terlupakan ke padaku...

MOTTO

أَمَّنَ الرَّسُولُ بِمَا أُنْزِلَ إِلَيْهِ مِنْ رَبِّهِ وَالْمُؤْمِنُونَ كُلٌّ آمَنَ بِاللَّهِ وَمَلَائِكَتِهِ وَكُتُبِهِ
وَرُسُلِهِ لَا نُفَرِّقُ بَيْنَ أَحَدٍ مِّنْ رُّسُلِهِ وَقَالُوا سَمِعْنَا وَأَطَعْنَا غُفْرَانَكَ رَبَّنَا
وَإِلَيْكَ الْمَصِيرُ

285. Rasul (Muhammad) beriman kepada apa yang diturunkan kepadanya (Al-Qur'an) dari Tuhannya, demikian pula orang-orang yang beriman. Semua beriman kepada Allah, malaikat-malaikat-Nya, kitab-kitab-Nya dan rasul-rasul-Nya. (Mereka berkata), "Kami tidak membedakan seorang pun dari rasul-rasul-Nya." Dan mereka berkata, "Kami dengar dan kami taat. Ampunilah kami Ya Tuhan kami, dan kepada-Mu tempat (kami) kembali." (QS. Al-Baqarah:285)

لَا يُكَلِّفُ اللَّهُ نَفْسًا إِلَّا وُسْعَهَا لَهَا مَا كَسَبَتْ وَعَلَيْهَا مَا اكْتَسَبَتْ رَبَّنَا لَا تُؤَاخِذْنَا
إِن نَّسِينَا أَوْ أَخْطَأْنَا رَبَّنَا وَلَا تَحْمِلْ عَلَيْنَا إَصْرًا كَمَا حَمَلْتَهُ عَلَى الَّذِينَ مِنْ
قَبْلِنَا رَبَّنَا وَلَا تُحَمِّلْنَا مَا لَا طَاقَةَ لَنَا بِهِ وَاعْفُ عَنَّا وَارْحَمْنَا أَنْتَ
مَوْلَانَا فَانصُرْنَا عَلَى الْقَوْمِ الْكَافِرِينَ

286. Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya. Dia mendapat (pahala) dari (kebajikan) yang dikerjakannya dan dia mendapat (siksa) dari (kejahatan) yang diperbuatnya. (Mereka berdoa), "Ya Tuhan kami, janganlah Engkau hukum kami jika kami lupa atau kami melakukan kesalahan. Ya Tuhan kami, janganlah Engkau bebani kami dengan beban yang berat sebagaimana Engkau bebankan kepada orang-orang sebelum kami. Ya Tuhan kami, janganlah Engkau pikulkan kepada kami apa yang tidak sanggup kami memikulnya. Maafkanlah kami, ampunilah kami, dan rahmatilah kami. Engkaulah pelindung kami, maka tolonglah kami menghadapi orang-orang kafir." (QS. Al-Baqarah:286)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang selalu memberikan segala kenikmatan dan rahmat pada seluruh hamba-Nya. Shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa Islam kepada seluruh umat manusia.

Dengan rahmat dan karunia Allah SWT, dimasa pandemi Covid-19 yang melanda seluruh dunia yang sangat berdampak dengan perubahan perkuliahan yang semula bertatap muka dengan dosen dan teman (*offline*) menjadi perkuliahan daring (*online*) yang memiliki suka dan duka dan perjuangan yang penuh lika-liku, Alhamdulillah saya dapat menyelesaikan program Strata-2 ini dengan tepat waktu. Penulis dapat menyelesaikan laporan tesis dengan judul “Model *Joint Economic Lot Size* Untuk Sistem Produksi Tidak Sempurna Dengan Permintaan Probabilistik, Percepatan *Lead-Time*, dan Layanan *Pick-Up* (Studi Kasus: PT. El-Rahma Batik & Titin Batik)”. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Strata-2 pada Program Studi Magister Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Dalam penyelesaian penyusunan tesis ini tidak lepas dari dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Prof. Dr.Ir. Hari Purnomo, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri dan Pembimbing yang selalu memberikan motivasi, solusi dan saran dalam menyelesaikan penelitian tesis ini.
3. Bapak Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Magister Teknik Industri.
4. Ibu Dr. Ir. Elisa Kusri, M.T., CPIM, CSCP, dan Bapak Dr. Drs Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc. selaku Tim Penguji.

5. Bapak/ Ibu Dosen pada program Magister Teknik Industri yang telah memberikan ilmu dan pemahaman selama menempuh program di Universitas Islam Indonesia.
6. Suami, orangtua dan keluarga yang selalu tulus mendoakan dan memberikan dukungan serta kasih sayang selama studi ini.
7. Kepada teman-teman MTI kelas Blok angkatan 28 yaitu Mas Agham, Mas Indrawan, Mas Rendi, Mas Arul, Mbak Windi dan Mas Abdul, serta teman-teman MTI kelas Reguler dan Angkatan Tingkat Atas yang telah berjuang berjuang bersama dalam studi ini.
8. Kepada Bapak Jerri Irgo, Mas Susilo, dan Bapak/Tbu yang telah banyak membantu administrasi dari proses awal hingga akhir.
9. Semua Pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu sekiranya tesis ini dapat dilanjutkan dan diperbaiki pada penelitian selanjutnya. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan peneliti pada area atau bidang yang sama.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 07 Januari 2022



Novrianty Rizky, S.T.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR PUBLIKASI	xx
DAFTAR DEFINISI	xxi
ABSTRAK	xxiii
ABSTRACT	xxiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	10
1.3 Batasan Masalah	10
1.4 Tujuan Penelitian	11
1.5 Manfaat Penelitian	11
1.6 Sistematika Penulisan	11
BAB II TINJAUAN LITERATUR	14
2.1 Penelitian Terdahulu	14
2.2 Landasan Teori	21
2.2.1 <i>Supply Chain Management</i>	21
2.2.2 Sistem Persediaan	21

2.2.3 Komponen Biaya Persediaan	23
2.2.4 Konsep Persediaan Probabilistik	25
2.2.5 Kekurangan Persediaan	27
2.3 <i>Backorder Price Discount</i>	28
2.4 Proses Produksi Tidak Sempurna	29
2.5 Investasi Perbaikan Kualitas Proses Produksi	30
2.6 <i>Lead time</i> Manufaktur	31
2.7 <i>Crashing Lead Time</i>	32
2.8 Penyedia Jasa Logistik	34
2.9 Tinjauan Model Wangsa dan Wee (2017)	36
2.9.1 Total Biaya Ekspektasi Pembeli	38
2.9.2 Total Biaya Ekspektasi Pemasok	42
2.9.3 Total Biaya Ekspektasi Gabungan (JTEC)	44
2.9.4 Optimalisasi	45
2.9.5 Algoritma Solusi	48
BAB III METODOLOGI PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN MODEL ..50	
3.1 Obyek dan Subyek Penelitian	50
3.1.1 Obyek Penelitian	50
3.1.2 Subyek Penelitian	50
3.2 Langkah Penelitian.....	51
3.2.1 Tinjauan Literatur	51
3.2.2 Perumusan Masalah	51
3.2.3 Pengembangan dan Verifikasi Model	51
3.2.4 Implementasi Model	52
3.2.5 Kesimpulan dan Saran	53
3.3 Kerangka Pikir Penelitian	55
3.4 Karakteristik Sistem.....	56
3.5 Pengembangan Model	63
3.5.1 Notasi dan Asumsi Model	63

3.5.2 Model I: Proses Produksi Tidak Sempurna dan Perbaikan Kualitas ...	67
3.5.3 Model II: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas dan <i>Backorder Price Discount</i> (BPD)	68
3.5.4 Model III: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas, <i>Backorder Price Discount</i> (BPD) dan Penurunan Biaya <i>Setup</i> dan Biaya Pesan	69
3.6 Optimasi	71
3.6.1 Model I: Proses Produksi Tidak Sempurna dan Perbaikan Kualitas ...	71
3.6.3 Model II: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas dan <i>Backorder Price Discount</i> (BPD)	75
3.6.4 Model III: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas, <i>Backorder Price Discount</i> (BPD) dan Penurunan Biaya <i>Setup</i> dan Biaya Pesan	79
3.7 Perbandingan Model	84
3.8 Algoritma Solusi	88
3.8.1 Model I: Proses Produksi Tidak Sempurna dan Perbaikan Kualitas ...	88
3.8.3 Model II: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas dan <i>Backorder Price Discount</i> (BPD)	89
3.8.4 Model III: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas, <i>Backorder Price Discount</i> (BPD) dan Penurunan Biaya <i>Setup</i> dan Biaya Pesan	91
3.9 Verifikasi Model	93
3.9.1 Model I: Proses Produksi Tidak Sempurna dan Perbaikan Kualitas ...	94
3.9.2 Model II: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas dan <i>Backorder Price Discount</i> (BPD)	96
3.9.3 Model III: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas, <i>Backorder Price Discount</i> (BPD) dan Penurunan Biaya <i>Setup</i> dan Biaya Pesan	99

BAB IV IMPLEMENTASI MODEL	103
4.1 Pengumpulan Data	103
4.1.1 Profil Perusahaan Pemasok	103
4.1.2 Tingkat Produksi Pemasok	104
4.1.3 Biaya <i>Setup</i> Pemasok	105
4.1.4 Biaya Simpan Pemasok	108
4.1.5 Tingkat Kerusakan Produksi dan Pengerjaan Ulang (<i>Rework</i>)	111
4.1.6 Biaya Investasi Perbaikan Kualitas dan Penurunan Biaya <i>Setup</i>	112
4.1.7 Profil Perusahaan Pembeli	115
4.1.8 Data Permintaan Pembeli	115
4.1.9 Biaya Pesan Pembeli	118
4.1.10 Biaya Simpan Pembeli	119
4.1.11 Biaya <i>Shortage</i>	121
4.1.12 <i>Lead Time</i> Pembeli	122
4.1.13 Biaya Investasi Penurunan Biaya Pesan.....	123
4.1.14 Biaya Logistik	124
4.1.15 Biaya <i>Surcharge</i>	126
4.1.16 Rekapitulasi Data Parameter	128
4.2 Pengolahan Data	130
4.2.1 Perhitungan Kondisi Riil Perusahaan	130
4.2.2 Perhitungan Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)	133
4.2.3 Perhitungan Model I	143
4.2.4 Perhitungan Model II	153
4.2.5 Perhitungan Model III	163
BAB V PEMBAHASAN	175
5.1 Analisa Perbandingan Hasil Penelitian.....	175
5.2 Analisa Perbandingan Komponen Total Biaya	179
5.2.1 Perbandingan Komponen Total Biaya Kondisi Riil dengan Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)	179

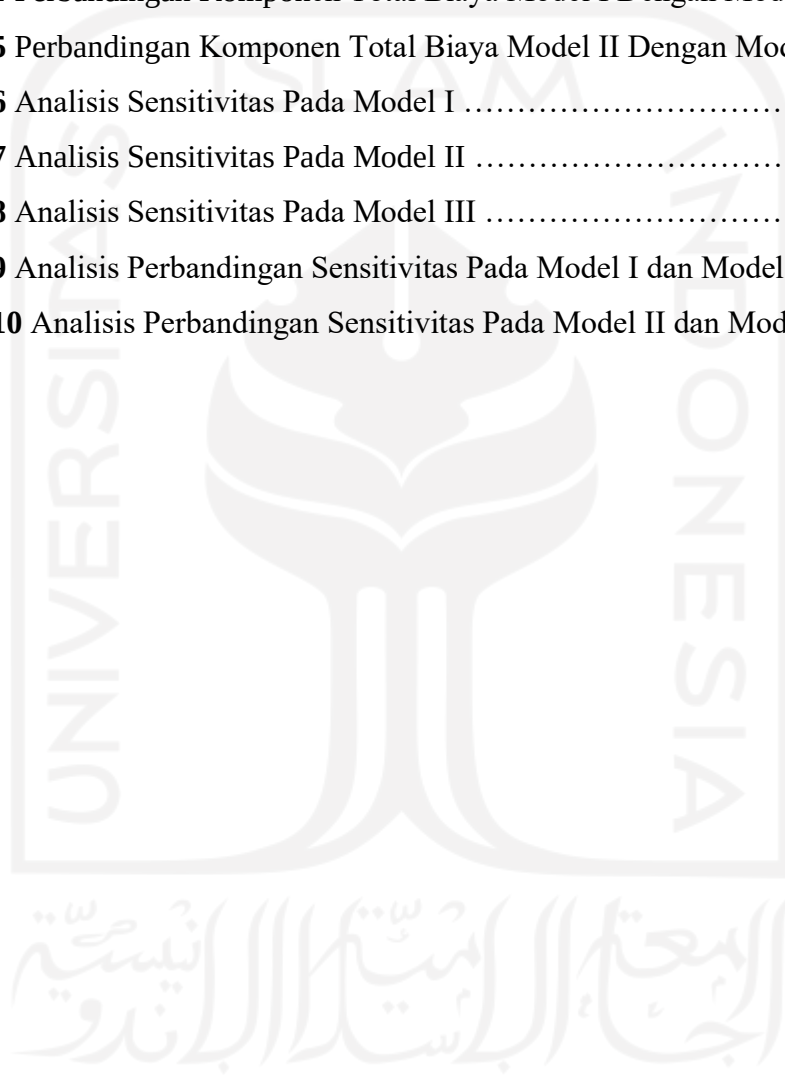
5.2.2 Perbandingan Komponen Total Biaya Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Dengan Model I	182
5.2.3 Perbandingan Komponen Total Biaya Model I dengan Model II	184
5.2.4 Perbandingan Komponen Total Biaya Model II dengan Model III	187
5.3 Analisa Sensitivitas	190
5.3.1 Analisis Sensitivitas Pada Tiap Model	190
5.3.2 Analisis Perbandingan Analisis Sensitivitas	197
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	201
6.1 Kesimpulan	201
6.2 Saran	202
6.2.1 Saran Bagi Perusahaan	202
6.2.2 Saran Penelitian Selanjutnya	204
DAFTAR PUSTAKA	205
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A: PERHITUNGAN KONDISI RIIL PERUSAHAAN	
LAMPIRAN B: PERHITUNGAN MODEL MODIFIKASI WANGSA & WEE (2017)	
LAMPIRAN C: PERHITUNGAN MODEL I	
LAMPIRAN D: PERHITUNGAN MODEL II	
LAMPIRAN E: PERHITUNGAN MODEL III	
KARTU BIMBINGAN DAN KONSULTASI TESIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sistem Rantai Pasok Yang Diteliti	5
Gambar 1.2 Sistem Produksi Tidak Sempurna El-Rahma Batik	6
Gambar 2.1 Diagram Posisi Penelitian	18
Gambar 2.2 Hubungan <i>Safety Stock</i> dengan <i>Service Level</i> (Tingkat Pelayanan)	27
Gambar 2.3 Pengaruh Fungsi Logaritma pada Peningkatan Kualitas	30
Gambar 2.4 Waktu Siklus Manufaktur/ Lead-time Manufaktur	31
Gambar 2.5 Komponen <i>lead-time</i> kedatangan bahan baku sebelum di <i>crashing</i>	33
Gambar 2.6 Komponen <i>lead-time</i> kedatangan bahan baku sesudah di <i>crashing</i>	34
Gambar 2.7 Hirarki <i>Supply Chain Integration</i> Dalam Jasa Logistik	35
Gambar 2.8 Sistem Rantai Pasok dengan Jasa Logistik (Wangsa dan Wee, 2017)...	41
Gambar 2.9 Pola Persediaan Akumulasi Pemasok dan Pembeli	43
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Langkah Penelitian	54
Gambar 3.2 Kerangka Pikir Penelitian	55
Gambar 3.3 Pola Persediaan Titin Batik	57
Gambar 3.6 Ilustrasi Percepatan Pada Komponen <i>Lead Time</i> 1,.....	59
Gambar 3.7 Ilustrasi Percepatan Pada Komponen <i>Lead Time</i> 1 dan 2	60
Gambar 3.8 Ilustrasi Percepatan Pada Komponen <i>Lead Time</i> 1, 2 dan 3	60
Gambar 3.9 Karakteristik Sistem Pada Penelitian yang Dilakukan	62
Gambar 4.1 Tingkat Produksi Produk Ketiga Jenis Produk	105
Gambar 4.2 Aliran Proses Produksi Tidak Sempurna El-Rahma Batik	111
Gambar 4.3 Hubungan Biaya Investasi dengan Penurunan % Probabilitas <i>Out-Of-Control</i>	113
Gambar 4.4 Hubungan Biaya Investasi dengan Penurunan Tingkat % dari Biaya <i>Setup Awal</i>	115
Gambar 4.5 Pola Permintaan Pada Ketiga Jenis Produk Periode Januari sampai Desember	116

Gambar 4.6 Hubungan Biaya Investasi Dengan Penurunan Presentasi Biaya Pesan .	124
Gambar 4.7 Truk Mitsubishi tipe <i>Colt Diesel Double (CDD) Box Reefer</i>	125
Gambar 4.8 Peta Geografi Hubungan El-Rahma Batik, JNE dan Titin Batik	126
Gambar 4.9 Proses Iterasi m Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk $L_0 =$ 29 hari	138
Gambar 4.10 Proses Iterasi m Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk $L_1 =$ 27 hari	139
Gambar 4.11 Proses Iterasi m Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk $L_2 =$ 16 hari	140
Gambar 4.12 Proses Iterasi m Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk $L_3 =$ 14 hari	141
Gambar 4.13 Rangkuman Tiap <i>Lead Time</i> Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)	142
Gambar 4.14 Proses Iterasi m Model I Untuk $L_0 = 29$ hari	148
Gambar 4.15 Proses Iterasi m Model I Untuk $L_1 = 27$ hari	149
Gambar 4.16 Proses Iterasi m Model I Untuk $L_2 = 16$ hari	150
Gambar 4.17 Proses Iterasi m Model I Untuk $L_3 = 14$ hari	151
Gambar 4.18 Rangkuman Tiap <i>Lead Time</i> Model I	152
Gambar 4.19 Proses Iterasi m Model II Untuk $L_0 = 29$ hari	158
Gambar 4.20 Proses Iterasi m Model II Untuk $L_1 = 27$ hari	159
Gambar 4.21 Proses Iterasi m Model II Untuk $L_2 = 16$ hari	160
Gambar 4.22 Proses Iterasi m Model II Untuk $L_3 = 14$ hari	161
Gambar 4.23 Rangkuman Tiap <i>Lead Time</i> Model II	162
Gambar 4.24 Proses Iterasi m Model III Untuk $L_0 = 29$ hari	169
Gambar 4.25 Proses Iterasi m Model III Untuk $L_1 = 27$ hari	170
Gambar 4.26 Proses Iterasi m Model III Untuk $L_2 = 16$ hari	171
Gambar 4.27 Proses Iterasi m Model III Untuk $L_3 = 14$ hari	172
Gambar 4.28 Rangkuman Tiap <i>Lead Time</i> Model III	173
Gambar 5.1 Perbandingan Total Biaya Pada Tiap Model	176

Gambar 5.2 Perbandingan Komponen Total Biaya Kondisi Riil Dengan Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)	180
Gambar 5.3 Perbandingan Komponen Total Biaya Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Dengan Model I	182
Gambar 5.4 Perbandingan Komponen Total Biaya Model I Dengan Model II	185
Gambar 5.5 Perbandingan Komponen Total Biaya Model II Dengan Model III	188
Gambar 5.6 Analisis Sensitivitas Pada Model I	191
Gambar 5.7 Analisis Sensitivitas Pada Model II	193
Gambar 5.8 Analisis Sensitivitas Pada Model III	195
Gambar 5.9 Analisis Perbandingan Sensitivitas Pada Model I dan Model II	197
Gambar 5.10 Analisis Perbandingan Sensitivitas Pada Model II dan Model III	199



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Posisi Penelitian.....	19
Tabel 3.1 Rangkuman Formulasi Model I, Model II, dan Model III.....	85
Tabel 4.1 Data Produksi Untuk Produk Sarimbit Batik, Blues Pria Batik dan Blues Wanita Batik	104
Tabel 4.2 Data Permintaan Produk Sarimbit Batik, Blues Pria Batik & Blues Wanita Batik	116
Tabel 4.3 Data Biaya <i>Shortage</i> Produk Sarimbit Batik, Blues Pria Batik & Blues Wanita Batik	122
Tabel 4.4 Data <i>Lead Time</i> Pembeli.....	123
Tabel 4.5 Rekapitulasi Data-data Parameter El-Rahma Batik dan Titin Batik.....	128
Tabel 4.6 Data <i>Lead Time</i> Titin Batik.....	129
Tabel 4.7 Perhitungan Kondisi Rill Perusahaan.....	133
Tabel 4.8 Rangkuman Perhitungan Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk $L0 = 29$ Hari	137
Tabel 4.9 Rangkuman Perhitungan Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk $L1 = 27$ Hari	138
Tabel 4.10 Rangkuman Perhitungan Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk $L2 = 16$ Hari	139
Tabel 4.11 Rangkuman Perhitungan Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk $L3 = 14$ Hari	140
Tabel 4.12 Rangkuman Perhitungan Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk Tiap <i>Lead time</i>	141
Tabel 4.13 Perhitungan Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)	142
Tabel 4.14 Rangkuman Perhitungan Model I Untuk $L0 = 29$ Hari.....	147
Tabel 4.15 Rangkuman Perhitungan Model I Untuk $L1 = 27$ Hari.....	148
Tabel 4.16 Rangkuman Perhitungan Model I Untuk $L2 = 16$ Hari.....	149

Tabel 4.17 Rangkuman Perhitungan Model I Untuk $L3 = 14$ Hari.....	150
Tabel 4.18 Rangkuman Perhitungan Model I Untuk Tiap <i>Lead time</i>	151
Tabel 4.19 Perhitungan Model I.....	152
Tabel 4.20 Rangkuman Perhitungan Model II Untuk $L0 = 29$ Hari.....	158
Tabel 4.21 Rangkuman Perhitungan Model II Untuk $L1 = 27$ Hari.....	159
Tabel 4.22 Rangkuman Perhitungan Model II Untuk $L2 = 16$ Hari.....	160
Tabel 4.23 Rangkuman Perhitungan Model II Untuk $L3 = 14$ Hari.....	161
Tabel 4.24 Rangkuman Perhitungan Model II Untuk Tiap <i>Lead time</i>	162
Tabel 4.25 Perhitungan Model II.....	163
Tabel 4.26 Rangkuman Perhitungan Model III Untuk $L0 = 29$ Hari.....	169
Tabel 4.27 Rangkuman Perhitungan Model III Untuk $L1 = 27$ Hari.....	170
Tabel 4.28 Rangkuman Perhitungan Model III Untuk $L2 = 16$ Hari.....	171
Tabel 4.29 Rangkuman Perhitungan Model III Untuk $L3 = 14$ Hari.....	172
Tabel 4.30 Rangkuman Perhitungan Model III Untuk Tiap <i>Lead time</i>	173
Tabel 4.31 Perhitungan Model III.....	174
Tabel 5.1 Perbandingan Hasil Perhitungan Pada Tiap Model.....	175
Tabel 5.2 Penghematan Total Biaya.....	176
Tabel 5.3 Perbandingan Komponen Total Biaya Kondisi Riil Dengan Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)	179
Tabel 5.4 Perbandingan Komponen Total Biaya Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Dengan Model I	182
Tabel 5.5 Perbandingan Komponen Total Biaya Model I Dengan Model II.....	185
Tabel 5.6 Perbandingan Komponen Total Biaya Model II Dengan Model III.....	187
Tabel 5.7 Analisis Sensitivitas Pada Model I.....	190
Tabel 5.8 Analisis Sensitivitas Pada Model II.....	193
Tabel 5.9 Analisis Sensitivitas Pada Model III.....	195
Tabel 5.10 Analisis Perbandingan Sensitivitas Pada Model I dan Model II	197
Tabel 5.11 Analisis Perbandingan Sensitivitas Pada Model II dan Model III	198

DAFTAR PUBLIKASI

Publikasi selama masa studi

Purnomo, M. R. A., **Rizky, N.**, and Wahab, D. A. **(Accepted)**. An Optimization Model for Single-Vendor Single-Buyer Supply Chain System by Considering Risks Due Imperfect Production Process with Crashing Lead-time and Pick-up Policy, *Virtual Conference on Computational and Experimental Mechanics (VCCEM)*, 1-2 December 2021.

Rizky, N., & Purnomo, M. R. A. **(Under Review)**. Impact of Quality Improvement, Crashing Lead-time and Pick-up Policy on Joint Economic Lot Size Models Considering Backorder Price Discount and Setup/Ordering Cost Reduction, *International Journal of Industrial Engineering Computations* (Q2).

Rizky, N., Pristiwaji, A. S., & Purnomo, M. R. A. **(In Preparation)**. Imperfect Production Inventory Models: A Bibliometric Analysis, *Walailak Journal of Science and Technology* (Q3).

Kontribusi yang diberikan oleh pihak lain dalam tesis ini

“Tidak ada kontribusi dari pihak lain”.

DAFTAR DEFINISI

Nama	Definisi
Sistem Rantai Pasok Dua Eselon	Sistem rantai pasok yang terdiri dari pemasok tunggal dan pembeli tunggal.
<i>Economic Order Quantity</i> (EOQ)	Salah satu metode klasik yang digunakan dalam menentukan ukuran <i>lot</i> pemesanan yang ekonomis untuk satu pihak.
<i>Joint Economic Lot Size</i> (JELS)	Gabungan ukuran <i>lot</i> pemesanan yang ekonomis pada sistem rantai pasok yang terdiri dari pemasok tunggal dan pembeli tunggal.
Permintaan probabilistik (<i>probabilistic demand</i>)	Permintaan yang sifatnya tidak pasti dan berubah-ubah dan biasanya diperlukan safety stock.
<i>Backorder</i> dan <i>Lost Sales</i>	Kekurangan persediaan (<i>shortage</i>) dapat dibagi menjadi dua, yaitu <i>backorder</i> dan <i>lost sales</i> . Semua permintaan akan dipesan ulang (<i>backorder</i>), dimana pelanggan bersedia menunggu sampai permintaan mereka terpenuhi, atau bisa terjadi kehilangan kesempatan mendapat keuntungan atau kehilangan konsumen atau pelanggan (<i>lost sales</i>) karena kecewa sehingga beralih ketempat yang lain.
<i>Backorder Price Discount</i>	Sebuah potongan <i>backorder price</i> untuk <i>stokout item</i> yang ditawarkan oleh pemasok kepada pembeli tergantung pada jumlah pemesanan ulang sehingga pembeli bersedia menunggu.
<i>Crashing Lead-time</i> (percepatan <i>lead-time</i>)	Menurut Liao dan Shyu (1991), percepatan <i>lead time</i> adalah sebuah konsep dimana <i>lead-time</i> dapat dipecah menjadi beberapa komponen <i>lead-time</i> yang terpisah misalnya waktu pesan, waktu proses, dan waktu transport dimana pada masing-masing komponen mempunyai durasi minimum dan maksimum atau waktu normalnya serta biaya percepatan per satuan waktu.
Proses Produksi Tidak Sempurna	Proses produksi yang menghasilkan produk cacat dengan probabilitas <i>out-off-control</i> tertentu

Nama	Definisi
Investasi Perbaikan Kualitas Proses Produksi	Suatu upaya perusahaan dalam meningkatkan kualitas proses produksinya dengan menambah biaya yang dikeluarkan. Biaya yang dikeluarkan adalah berupa modal dalam perbaikan kualitas tersebut.
<i>Outbound</i> logistik	Aliran yang mengirimkan produk jadi ke pelanggan dan perantara saluran.
Perusahaan Penyedia Layanan Logistik Pihak Ketiga (<i>Third Party Logistic</i>)	Perusahaan yang digunakan biasanya sebagai <i>outsourcing</i> perusahaan lain didalam melakukan fungsi-fungsi logistik
<i>Pick-up Service</i>	Sebuah layanan antar-jemput yang ditawarkan oleh pihak TPL dalam mengirimkan produk dari pemasok ke pembeli.
Biaya <i>Setup</i>	Biaya yang dikeluarkan dan ditimbulkan untuk persiapan produksi barang.
Biaya Pesan	Biaya yang dikeluarkan dan ditimbulkan untuk melakukan pemesanan barang ke pemasok.
Biaya <i>rework</i>	Biaya untuk melakukan pengerjaan ulang pada produk yang rusak agar produk tersebut dapat diterima pembeli.
Biaya <i>Surcharge</i>	Biaya tambahan yang timbul dari pelayanan antar- jemput (<i>pick-up</i>).
Biaya Simpan	Semua pengeluaran yang timbul akibat menyimpan barang baik di pihak pemasok dan pembeli.
Biaya <i>Shortage</i>	Biaya dimana terjadi barang telah habis pada saat permintaan, sehingga terjadi kerugian dan kehilangan kesempatan mendapat keuntungan.
<i>Reorder Point</i>	Waktu pada saat titik pemesanan ulang.
<i>Full Truck Load</i> (FTL)	Jenis layanan perusahaan logistik dengan menggunakan satu jenis moda transportasi truk yang disesuaikan dengan kebutuhan pengiriman.
<i>Less Than Truckload</i> (LTL)	Salah satu jenis layanan pengiriman barang yang menggabungkan pengiriman dari banyak pelanggan.

ABSTRAK

Tesis ini mengembangkan model persediaan yang terintegrasi dalam sebuah sistem rantai pasok. Penelitian ini mensintesis tiga penelitian terdahulu yaitu Wangsa dan Wee (2017), Sarkar & Giri (2020), dan Tiwari *et al.* (2020). Penelitian ini memperkenalkan 3 (tiga) model baru yang saling berhubungan dan berkelanjutan. Dalam model tersebut mempertimbangkan adanya kondisi, seperti: permintaan yang probabilistik, proses produksi yang mengalami penurunan sehingga menghasilkan produk cacat dengan probabilitas tertentu, adanya investasi perbaikan kualitas proses produksi untuk menekan biaya *rework* dan probabilitas produk cacat, percepatan *lead time*, *backorder price discount* (BPD), dan investasi penurunan terhadap biaya pesan dan biaya *setup* serta mempertimbangkan biaya logistik dan kebijakan *pick-up service*. Model-model telah diimplementasikan pada sebuah rantai pasok 2 eselon yang terdiri dari El-Rahma Batik sebagai pemasok tunggal produk pakaian batik dan Titin Batik sebagai pembeli tunggalnya. Tujuan dari penelitian ini adalah meminimiasi total biaya gabungan (*JTEC*). Pada Model I, variabel keputusan yang dioptimalkan adalah ukuran *lot* pemesanan gabungan, ukuran *lot* produksi, *safety factor* (untuk mengoptimalkan *safety stock* dan *shortage*), *lead time*, dan probabilitas *out-of-control*. Selanjutnya, Model II merupakan pengembangan dari Model I dengan mengoptimalkan variabel keputusan yang sama dari Model I dan biaya *backorder*. Terakhir, Model III merupakan pengembangan berkelanjutan dari Model II yang mengoptimalkan biaya pesan dan biaya *setup* dengan adanya investasi. Selanjutnya dari ketiga model tersebut dioptimalkan untuk setiap variabel-variabel keputusan dengan menggunakan metode diferensial. Hasil dari penelitian ini diperoleh Model I memberikan penghematan pada total biaya sistem sebesar Rp 94.617.858,36/tahun atau 17,28% dibandingkan dari hasil model dasar. Selanjutnya pada Model II memberikan penghematan total biaya sistem sebesar Rp 629.071,48/tahun atau 0,14% dibandingkan dari model I. Terakhir pada Model III memberikan penghematan total biaya sistem yang cukup signifikan dari model II yaitu sebesar Rp 26.979.729,66/tahun (5,96%). Model-model ini dilakukan pengembangan secara berkelanjutan agar dapat menjadi tambahan wawasan untuk pengambil keputusan suatu perusahaan dalam mengoptimalkan biaya dengan mempertimbangkan sumberdaya yang dimiliki perusahaan. Sehingga model-model ini dapat juga diimplementasikan pada perusahaan yang lain secara bertahap.

Kata Kunci: Manajemen rantai pasok, model intergrasi persediaan, percepatan *lead time*, proses produksi tidak sempurna dan perbaikan kualitas, *backorder price discount*, investasi penurunan biaya pesan dan *setup*, biaya logistik dan kebijakan *pick-up service*.

ABSTRACT

This thesis develops integrated inventory models in a supply chain system. This research synthesizes three previous studies, there are: Wangsa and Wee (2017), Sarkar & Giri (2020), and Tiwari et al. (2020). This study introduces 3 new models that interconnected and sustainable. Models consider the following conditions, such as: probabilistic demand, the imperfect production processes that resulting in defective products with a certain probability, investment in quality improvement of the production process to reduce rework costs and the probability of defective products, crashing lead time, backorder price discount (BPD), and investment in reducing ordering and setup costs as well as considering logistics costs and pick-up service policies. Models have been implemented in a two-echelon supply chain that consisting of El-Rahma Batik as a single-supplier of batik clothing product and Titin Batik as its a single-buyer. The purpose of this study is to minimize the joint total expected cost (JTEC). In Model I, the decision variables which are optimized, such as: the joint economic lot size (JELS), the production batch size, safety factor (to optimize safety stock and shortage), lead time, and the probability of out-of-control. Next, Model II is the development of Model I by optimizing the decision variables same with Model I and the backorder cost. Finally, Model III is a sustainable development of Model II which reducing ordering cost and setup costs with investment. Furthermore, three models are optimized for each decision variables by using differential method. The results of this study obtained that Model I provide savings on the total system cost of IDR 94,617,858,36/year or 17.28% compared to the results of the basic model. Further, Model II provides a savings total system cost of IDR 629,071.48/year or 0.14% compared to model I. Finally, Model III provides a significant savings in total system costs from model II, which is IDR 26,979,729.66/year (5.96%). These models are developed on a continous improvement basis so that it can be insight for decision-makers of a company in optimizing costs by considering the resources owned by the company. So, these models can also be implemented in other companies gradually.

Keywords: *Supply chain management, joint economic lot size, crashing lead time, imperfect production process and quality improvement, backorder price discount, investment in reducing ordering and setup costs, logistics cost and pick-up service policy.*

BAB I

PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan hal-hal yang menjadi latar belakang dilakukannya penelitian (*subbab* 1.1) yang kemudian dilanjutkan dengan perumusan masalah (*subbab* 1.2). Selanjutnya dijelaskan dengan batasan penelitian (*subbab* 1.3), tujuan penelitian (*subbab* 1.4) dan manfaat penelitian (*subbab* 1.5). Pada Bab ini ditutup dengan sistematika penulisan yang dilakukan dalam penulisan tesis (*subbab* 1.6).

1.1 Latar Belakang

Persediaan barang merupakan salah satu komponen yang biasanya selalu ada dalam kegiatan dunia usaha. Dalam kegiatan usaha seperti industri manufaktur, persediaan dijumpai dalam bentuk antara lain bahan baku (*raw material*), barang setengah jadi atau barang jadi (*finish goods*) yang siap untuk dipasarkan. Persediaan bahan baku sendiri merupakan hal sangat penting untuk menjamin kelancaran proses produksi serta menjamin kualitas atau tingkat pelayanan terhadap terpenuhinya permintaan pelanggan.

Sistem persediaan yang baik dapat dilihat dari performansi atau kinerja sistem persediaan yang dimiliki. Menurut Fogarty (1991), terdapat dua kriteria utama untuk mengukur kinerja sistem persediaan, yaitu: 1) tingkat pelayanan yang tinggi pada pelanggan (*service level*), dan 2) biaya persediaan minimum (*inventory investment*). Ukuran tingkat pelayanan ditentukan dengan perbandingan jumlah permintaan yang dapat dipenuhi terhadap jumlah permintaan dalam satu periode. Semakin besar jumlah persediaan akan memberikan tingkat pelayanan yang semakin tinggi. Akan tetapi dengan jumlah persediaan yang besar menyebabkan biaya persediaan yang tinggi. Sebaliknya jika persediaan yang tersedia jumlahnya kurang, maka akan menghambat kegiatan produksi dan menyebabkan kehilangan penjualan dan pelanggan. Persediaan juga merupakan aset perusahaan yang menganggur (*idle*). Oleh karenanya, keberadaan persediaan perlu diatur agar perusahaan dapat menentukan jumlah persediaan yang optimal dengan biaya yang

minimum agar kelancaran pemenuhan kebutuhan pelanggan dapat terpenuhi. Banyak sekali metode-metode dalam mengelola atau mengatur persediaan pada perusahaan, salah satu teknik yang biasa digunakan dalam menentukan ukuran pemesanan atau ukuran *lot* yang ekonomis adalah *Economic Order Quantity* (EOQ). Model ini memperhitungkan dua biaya persediaan, yaitu biaya pesan dan biaya simpan. Model EOQ hanya mempertimbangkan biaya-biaya yang ditanggung oleh perusahaan pembeli atau sebagai pihak pemesan (*buyer*), sedangkan biaya-biaya yang dikeluarkan oleh pemanufaktur tidak diperhitungkan, sehingga total biaya pembeli dan pemanufaktur menjadi sangat besar. Ukuran pemesanan atau ukuran *lot* akan berimplikasi pada frekuensi pesanan dan rata-rata persediaan yang akan disimpan oleh perusahaan. Semakin kecil ukuran *lot* pemesanan maka akan semakin kecil persediaan digudang sehingga perusahaan harus sering melakukan pemesanan ulang (biaya pesan meningkat). Sebaliknya, jika ukuran *lot* pemesanan dalam jumlah besar maka stok persediaan menjadi tinggi dan dapat memenuhi permintaan pelanggan namun biaya simpan akan meningkat, hal ini dikarenakan rata-rata persediaan yang disimpan dalam jumlah lebih besar (Pujawan, 2005).

Dunia usaha saat ini sangat mengikuti perkembangan teknologi yang semakin maju, sehingga perusahaan harus dapat bersaing bukan hanya antar perusahaan akan tetapi antar *supply chain* dengan strategi yang tepat agar perusahaan mampu bertahan dan menang dalam persaingan bisnis. Di dalam *supply chain* perlu dipertimbangkan manajemen persediaan baik yang memasok maupun dipasok. Untuk mengelola semua persediaan tersebut perlu adanya *supply chain management* (SCM). Menurut Pujawan (2005) dalam mengelola SCM diperlukan kolaborasi dan *information sharing* yang baik dan terstruktur antar pihak-pihak yang terlibat untuk memperoleh keuntungan semua pihak atau *win-win solution*. Semua pihak dalam SCM yang berhasil menerapkan sistem SCM yang baik adalah perusahaan yang memiliki teknologi komunikasi dan informasi yang baik sehingga pihak pembeli dapat membagi data penjualan mereka secara *real time* kepada pihak pemasok. Dalam hal ini pemasok harus dapat membuat keputusan pengiriman yang tepat dan optimal, seperti dapat menganalisis pola permintaan, *lead-time* dan peramalan.

Menurut Cohen & Roussel (2005), bentuk kerjasama atau kemitraan paling banyak dilakukan saat ini adalah bentuk transaksional. Hubungan ini dilakukan hanya sebatas pada hal-hal yang terkait pada kebutuhan transaksi saja, seperti kriteria produk, jumlah, harga, dan jangka waktu kerjasama. Pada pola hubungan ini, hampir tidak ada *information sharing* dan biasanya salah satu pihak memiliki posisi tawar yang lebih tinggi, sehingga pihak yang lain cenderung untuk mengikuti keputusan yang diambil oleh pihak lainnya. Hubungan transaksional ini dapat ditingkatkan dengan melakukan *information sharing* antar pihak yang terlibat. Pada tingkatan ini, salah satu pihak bersedia memberikan informasi tambahan lainnya dimana informasi ini dapat digunakan untuk meningkatkan pelayanan dan mengefisienkan kinerja perusahaan sekaligus diharapkan dapat mengefisienkan sistem rantai pasok secara keseluruhan. Pola kemitraan seperti ini disebut dengan pola kooperasi. Dalam bentuk kerjasama atau kemitraan tersebut, dapat menggunakan model integrasi penggabungan ukuran *lot* dimana bertujuan meminimasi *Joint Total Expected Cost (JTEC)* untuk pemasok dan pembeli seperti yang disarankan pertama kali oleh (Goyal, 1977).

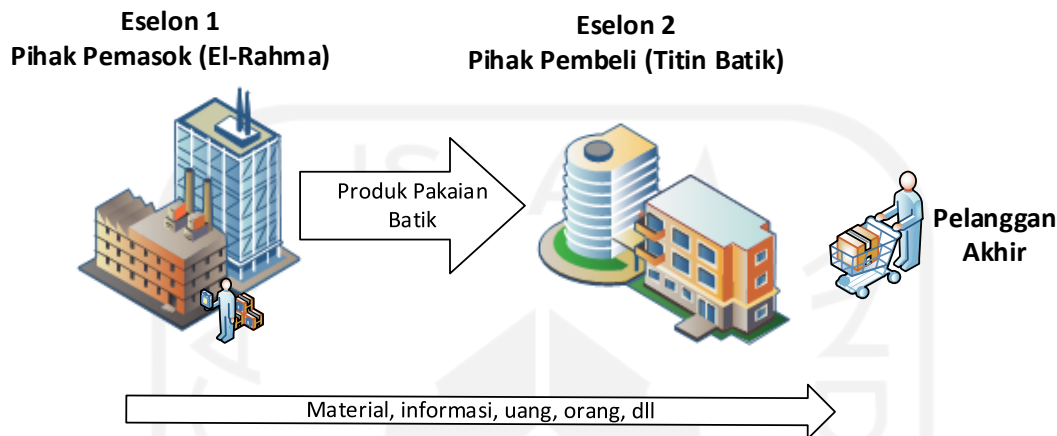
Model persediaan seperti *Joint Economic Lot Size (JELS)* pada *supply chain* telah banyak dikembangkan oleh penelitian sebelumnya. Solusi yang dihasilkan dari model ini dapat memberikan penghematan yang signifikan pada total biaya persediaan gabungan. Berbeda dengan model persediaan yang masih independent dan tidak melakukan kolaborasi. Sistem persediaan ini biasanya hanya mengoptimalkan salah satu pihak dalam *supply chain* misal pembeli, sedangkan pemasok tidak dipertimbangkan. Sehingga biaya persediaan pada pemasok menjadi tinggi dan mengakibatkan total biaya sistem juga menjadi lebih tinggi karena keputusan dilakukan oleh masing-masing pihak. Oleh karena itu penting sekali menggunakan model integrasi ukuran *lot* atau JELS yang mengoptimalkan kedua belah pihak yaitu pemasok dan pembeli. Dengan model JELS pemasok akan mengoptimalkan ukuran *lot* produksinya dan pembeli mengoptimalkan ukuran *lot* pemesanan dengan meminimumkan total biaya keseluruhan. Dari hasil penelitian sebelumnya, Ouyang *et al.* (2004) telah melakukan penelitian dengan membandingkan model integrasi dan model tanpa integrasi dalam persediaan. Penelitian

tersebut menghasilkan total biaya tanpa integrasi sebesar \$6.725,9/tahun sedangkan total biaya dengan integrasi diperoleh \$6.660,4/tahun sehingga dapat menghemat sebesar \$65,5/tahun atau (0.97%). Sedangkan menurut Pujawan (2005) dengan melakukan integrasi dalam persediaan dapat menghasilkan penghematan sebesar 11,14% dari model tanpa melakukan integrasi.

Pada penelitian ini membahas model persediaan gabungan dengan menggabungkan beberapa variabel dari model Wangsa & Wee (2017); Tiwari *et al.* (2020); dan Sarkar & Giri (2020) sebagai celah penelitian yang dapat dilakukan. Dari uraian penelitian yang akan dijelaskan sejauh pengetahuan peneliti, belum ada penelitian yang secara simultan dengan mempertimbangkan permintaan probabilistik, *crashing lead-time*, investasi perbaikan kualitas, biaya *rework*, biaya *shortage*, *backorder price discount*, biaya logistik, dan penurunan biaya pesan dan *setup* dalam sistem rantai pasok untuk pemasok tunggal dan pembeli tunggal. Pada penelitian ini mempertimbangkan model optimasi gabungan dengan permintaan probabilistik, waktu tunggu yang dapat dikendalikan (*crashing lead-time*), biaya *shortage*, biaya *rework*, investasi perbaikan kualitas, *backorder price discount*, biaya logistik, dan penurunan biaya pesan dan *setup* yang bertujuan untuk meminimalkan total biaya sistem gabungan.

Penelitian ini membahas sebuah studi kasus di perusahaan dengan usaha kecil menengah (UKM) El-Rahma Batik yang memproduksi macam-macam kerajinan batik, baik batik tulis, batik cap, maupun batik sablon dengan bahan prima, primis, dobby cina dan sutera. El-Rahma Batik dapat melayani permintaan pelanggan dalam maupun luar negeri. Beberapa pelanggan merupakan pelanggan tetap dan beberapa lain merupakan pelanggan yang tidak tetap. Jumlah permintaan pelanggan ada yang bersifat terjadwal dalam jangka waktu tertentu berdasarkan kontrak maupun tidak terjadwal dengan jumlah yang tidak ditentukan sebelumnya. Dengan demikian, jumlah permintaan pelanggan yang harus dipenuhi dalam kurun waktu satu tahun bersifat fluktuatif atau tidak dapat dipastikan sepenuhnya pada tahun sebelumnya. El-Rahma Batik memiliki beberapa rekanan bisnis dalam memasarkan produksinya. Salah satu mitra kerja yang telah dijalin adalah dengan Titin Batik. Dalam penelitian ini menggunakan **3 jenis produk** yaitu: sarimbit batik, blues

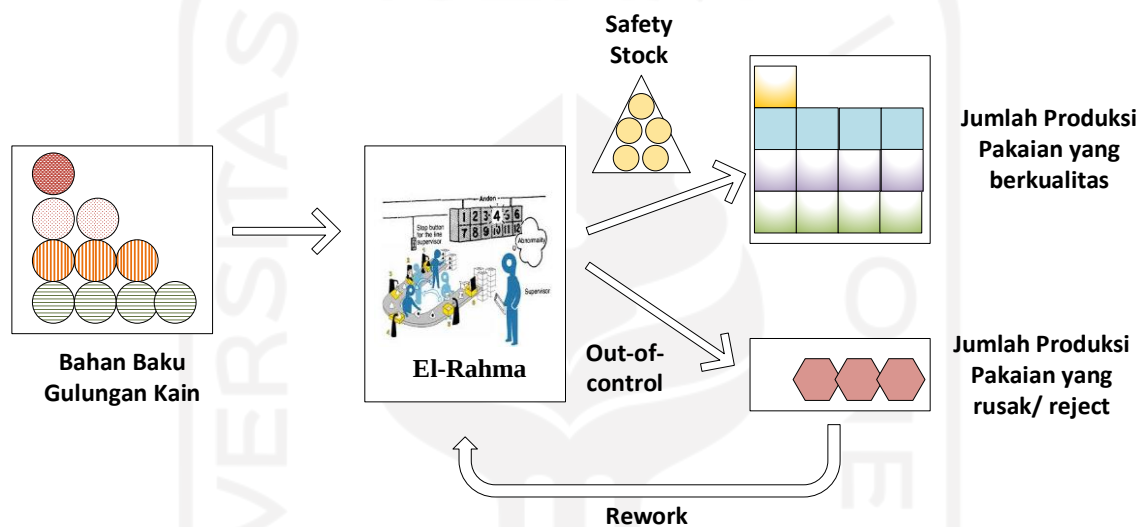
pria batik dan blues wanita batik. Adapun gambaran sistem rantai pasok dalam penelitian ini pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Sistem Rantai Pasok Yang Diteliti

Penelitian ini dilakukan pada kondisi dimana sistem produksi dapat menghasilkan produk cacat dengan probabilitas tertentu. Hal ini dikenal dengan sistem produksi tidak sempurna. Sistem produksi tidak sempurna akan selalu pada kondisi *out-of-control*. Dari hasil penelitian pendahuluan terlihat bahwa untuk tingkat penjualan tahun sebelumnya, El-Rahma Batik telah mampu memberikan tingkat pelayanan kepada Titin Batik rata-rata 90%. Keadaan tersebut tercapai dengan kebijakan untuk menetapkan *safety stock* sebesar 2% dari kebutuhan setiap kali melakukan pemesanan bahan baku serta menambah produksi sebesar 1% dari permintaan untuk mengantisipasi adanya produk *reject*. Akibat dari kebijakan tersebut menyebabkan jumlah persediaan bahan baku menjadi relative besar. Adanya produk yang *reject* diketahui setelah dilakukan inspeksi akhir siklus produksi. Sebuah produk dikategorikan *reject* apabila terdapat cacat atau kerusakan pada produk tersebut sehingga tidak memenuhi standard mutu yang telah ditetapkan. Kerusakan pada produk akhir menimbulkan kerugian pada El-Rahma Batik karena harus mengeluarkan biaya *rework* untuk melakukan perbaikan mengganti produk yang rusak tersebut, dimana kerusakan pada produk batik akan dikonversikan menjadi kerusakan bahan baku. Pada kondisi tersebut, sistem akan menghasilkan produk yang rusak dan akan dilakukan

perbaikan dengan biaya *rework*. Untuk perbaikan dari kondisi *out-of-control* menjadi *in-control* maka perlu biaya investasi perbaikan kualitas yang diteliti oleh Yang & Pan (2004), Ouyang *et al.* (2007), Sarkar & Moon (2014), Sarkar, *et al.* (2015) Vijayashree & Uthayakumar (2015), Jindal & Solanki (2016), Mukherjee *et al.* (2019), Guchhait *et al.* (2020), Sarkar & Giri (2020), Tiwari *et al.* (2020). Adapun sistem produksi tidak sempurna pada El-Rahma Batik ditunjukkan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Sistem Produksi Tidak Sempurna El-Rahma Batik

Sebagai pertimbangan perusahaan Titin batik untuk memenuhi permintaan pelanggan akhir yang cepat, dinamis dan fluktuatif serta untuk menjaga tingkat pelayanan dan kepuasan pelanggan maka Titin Batik dapat meminta kepada El-Rahma Batik sebagai pemasok untuk mempercepat *lead time* produk batik dengan cara mempercepat *lead time* (*crashing*) pada beberapa komponen *lead time*, seperti: persiapan, produksi dan pengiriman dengan tambahan biaya tertentu. Berdasarkan hasil studi pendahuluan bahwa rata-rata Titin Batik menunggu produk batiknya dari El-Rahma hingga produk tersebut sampai digudang Titin Batik yaitu 30 hari. Percepatan *lead time* akan diberikan apabila ada permintaan dari Titin Batik sebagai pembeli yang akan menanggung biaya percepatan tersebut. Selanjutnya Titin Batik akan memilih *lead time* dengan total biaya yang

optimum. Pada beberapa penelitian, percepatan *lead time* ini dikenal dengan istilah *crashing lead time*. Menurut Liao & Shyu (1991) bahwa *lead-time* dapat dipecah menjadi beberapa komponen *lead time* yang terpisah dengan tambahan biaya percepatan. Penelitian terkait *crashing lead time* diteliti oleh (Pan & Hsiao, 2001; Pan & Yang, 2002; Ouyang *et al.*, 2002; Ben-Daya & Hariga, 2004; Pan *et al.*, 2004; Yang & Pan, 2004; Ouyang *et al.*, 2004; Ouyang *et al.*, 2007; Jauhari *et al.*, 2009; Huang, 2010; Sarkar, *et al.*, 2015c; Vijayashree & Uthayakumar, 2015; Jindal & Solanki, 2016; Wangsa & Wee, 2017; Tiwari *et al.*, 2018; Sarkar & Giri, 2020; Tiwari *et al.*, 2020).

Perkembangan layanan pengiriman oleh *provider* logistik telah berkembang secara cepat dan luas beberapa tahun belakangan ini. Pada studi kasus ini, pengiriman produk pakaian batik dari El-Rahma Batik kepada Titin Batik diperlukan jasa *provider* logistik sebagai pihak ketiga (*Third Party Logistic*). 3PL adalah perusahaan yang dipakai sebagai tempat *outsourcing* perusahaan El-Rahma Batik dan Titin Batik didalam melakukan fungsi-fungsi logistik. Dalam logistik ada dua aliran material yang dikelola secara efisien yaitu *inbound* dan *outbound*. Penelitian ini lebih fokus pada aliran manajemen distribusi fisik (*outbound*) logistik yaitu aliran yang mengirimkan produk jadi pakaian batik dari El-Rahma Batik ke perantara saluran yaitu Titin Batik. Dalam aktivitas pengiriman produk tersebut akan dikeluarkan biaya logistik yang akan ditanggung oleh Titin Batik. Penelitian ini menggunakan model biaya logistik yang diformulasikan oleh (Wangsa & Wee, 2017) dengan mempertimbangkan biaya tambahan yang diajukan oleh *provider* logistik akibat dari kebijakan layanan *pick-up delivery*. Biaya-biaya tersebut akan menjadi tanggungan oleh pihak Titin Batik. Selanjutnya, penelitian ini juga mempertimbangkan harga BBM, konsumsi BBM pada kendaraan, beban muatan kendaraan dan jarak antara pemasok, *provider* logistik dan pembeli yang dikembangkan oleh (Wangsa & Wee, 2017).

Selain itu, dalam kondisi riil kasus ini juga mempertimbangkan pola permintaan untuk seluruh jenis produk batik dari Titin Batik yang tidak sama antara waktu ke waktu atau yang sering disebut fenomena probabilistik. Fenomena permintaan probabilistik mengakibatkan perlunya adanya penentuan persediaan penyangga (*safety stock*) yang digunakan untuk menekan distorsi permintaan pelanggan. Dengan adanya persediaan

penyangga dalam sistem persediaan, tidak menjamin permintaan dapat selalu terpenuhi, namun kemungkinan kekurangan persediaan (*shortage*) masih bisa terjadi. Penyediaan persediaan penyangga untuk produk batik, El-Rahma Batik memerlukan biaya baik langsung maupun tidak langsung. Secara umum terdiri dari biaya pembelian, biaya simpan dan biaya pesan. Dalam keadaan tertentu terdapat tambahan biaya persediaan yaitu biaya *backorder*, biaya kehilangan (*lost sales*), dan biaya pinalti jika permintaan tidak terpenuhi pada saat yang telah dijanjikan. Dalam situasi praktis biaya *backorder* dapat dihitung dengan cara menghitung biaya *setup* produksi tambahan dan menghitung biaya *outsourcing* atau *joborder* jika menggunakan sumber daya eksternal. Sedangkan jika menggunakan sumber daya dari dalam dengan menghitung biaya lembur atau *overtime*. Saat ini El-Rahma Batik memiliki 50 orang pekerja untuk melaksanakan operasional produksi dengan jam kerja normal. Apabila ada permintaan *backorder* dari Titin Batik maka El-Rahma Batik dapat melemburkan sekitar 10 orang pekerja untuk dapat memenuhi permintaan tersebut.

Dalam situasi praktis, jika terjadi *shortage*, apabila semakin panjang *lead-time* maka akan semakin membesar jumlah kekurangannya dan juga akan semakin kecil *service level* terhadap pelanggan akhir. Kemudian untuk meningkatkan *service level* akibat dari keadaan *shortage*, pihak Titin Batik dapat meminta kepada El-Rahma Batik untuk menurunkan biaya *backorder* dalam rangka memenuhi *stockout item* tersebut kepada pelanggan akhir sehingga pelanggan akhir merasa puas dan barang-barang yang diinginkan cepat tersedia. Adapun beberapa cara yang dapat dilakukan diantaranya:

- 1) El-Rahma Batik melakukan efisiensi lembur kepada para pekerja dengan cara mengurangi jumlah pekerja yang akan dilemburkan dari kondisi yang biasa yaitu sebesar 5 orang perkerja sehingga dapat mengurangi total biaya.
- 2) El Rahma Batik mempertimbangkan kuantitas permintaan dari Titin Batik dengan biaya produksi yang muncul sehingga dapat menggunakan pihak eksternal (*outsourcing*) yang upah tenaga kerjanya jauh lebih murah dan tidak terikat waktu.

Semakin optimal biaya *backorder* Titin Batik maka semakin besar keuntungan kepada pelanggan. Fenomena ini menunjukkan bahwa ketidakpuasan karena terjadinya

stockout, sehingga dari pihak pembeli akan memutuskan dalam menentukan rasio *backorder* optimal melalui potongan (*discount*) pada *backorder price* untuk meminimalkan total biaya persediaan. Model ini sering kali disebut dengan *backorder price discount* (BPD). Model ini telah digunakan oleh beberapa peneliti seperti: (Pan & Hsiao, 2001; Pan *et al.*, 2004; Pan & Hsiao, 2005; Lo, *et al.*, 2008; Lin, 2009; Huang, 2010; Sarkar, *et al.*, 2015c; Jindal & Solanki, 2016; Mukherjee *et al.*, 2019; Sarkar & Giri, 2020; Tiwari *et al.*, 2020).

Biaya yang dikeluarkan dalam setiap proses pengadaan suatu barang disebut dengan biaya pengadaan barang. Menurut Bahagia (2006), biaya pengadaan (*procurement cost*) terbagi menjadi 2 bagian, yaitu: biaya pemesanan (*order cost*) dan biaya persiapan (*setup cost*). Biaya pesan adalah semua pengeluaran yang ditimbulkan untuk mendatangkan barang dari luar. Biaya ini meliputi: biaya penentuan pemasok, biaya pemeriksaan persediaan sebelum dilakukan pemesanan dan lain-lain. Biaya *setup* adalah biaya yang dikeluarkan untuk setiap kali memulai persiapan produksi barang. Biaya ini meliputi biaya penyetelan mesin, biaya persiapan gambar kerja, dan sebagainya. Kita ketahui bahwa aktivitas pengadaan (*setup* dan pesan) dalam suatu industri manufaktur merupakan aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah dan tidak dapat dihindari. Akan tetapi aktivitas tersebut dapat direduksi atau dikurangi. Dalam upaya penurunan total biaya persediaan, pemasok dapat mereduksi/ menurunkan biaya *setup* dan pembeli dapat menurunkan biaya pesan. Hal ini dikarenakan, biaya *setup*/pesan merupakan biaya yang diperoleh dari suatu aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah oleh karena itu, aktivitas *setup*/pesan dapat dilakukan sesingkat mungkin untuk mendorong penurunan total persediaan. Beberapa penelitian dalam penurunan biaya *setup*/pesan telah dilakukan seperti: (Ouyang *et al.*, 1999; Ouyang *et al.*, 2002; Ouyang & Chang, 2002; Chang *et al.*, 2006; Lin, 2009; Huang, 2010; Sarkar & Moon, 2014; Sarkar, *et al.*, 2015a; Tiwari *et al.*, 2018, Guchhait *et al.*, 2020; Sarkar & Giri, 2020 ; Tiwari *et al.*, 2020).

Dalam memenangkan persaingan bisnis pakaian batik dengan strategi penetapan harga produk batik yang kompetitif dan terjangkau pada semua kalangan terutama untuk kalangan menengah kebawah. Sehingga fokus pada penelitian ini adalah mengelola

persediaan yang meminimumkan total biaya. Untuk menentukan total biaya persediaan minimum digunakan model *Economic Order Quantity* (EOQ) dengan pendekatan analitis matematis. Oleh sebab itu pada umumnya dalam menyelesaikan permasalahan sistem rantai pasok diatas akan menjawab dua pertanyaan penting dalam konsep EOQ yaitu berapa banyak ukuran *lot* produk pakaian batik yang akan dipesan oleh Titin Batik kepada El-Rahma Batik dan kapan pemesanan tersebut dilakukan agar dapat meminimumkan total biaya sistem rantai pasok.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut, maka pertanyaan penelitian (*research question*) ini adalah bagaimana memodelkan sistem persediaan yang melibatkan sistem rantai pasok antara El-Rahma Batik sebagai pemasok tunggal dan Titin Batik sebagai pembeli tunggal mempertimbangkan dengan beberapa kondisi yaitu: permintaan probabilistik, proses produksi tidak sempurna, perbaikan kualitas proses produksi, percepatan (*crashing*) *lead time*, *backorder price discount*, biaya logistik dan kebijakan *pick-up*, dan penurunan biaya *set-up* dan biaya pesan.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dilakukan agar tujuan penelitian ini lebih terfokus maka dibuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Sistem yang diteliti adalah sistem rantai pasok 2 eselon yaitu perusahaan El-Rahma Batik sebagai pemasok tunggal dan Titin Batik sebagai pembeli tunggal dengan multi produk pakaian batik.
2. Penelitian ini juga mempertimbangkan sistem yang tidak sempurna yang menghasilkan produk cacat pakaian batik pada perusahaan El-Rahma Batik.
3. Dalam pengiriman produk El-Rahma Batik ke Titin Batik menggunakan jasa pengiriman *third party logistic*.
4. Untuk memenuhi permintaan yang cepat dari pelanggan akhir, Titin Batik dapat membuat permintaan kepada El-Rahma Batik untuk dilakukan percepatan *lead*

time. *Lead-time* dapat dipercepat dan dipecah menjadi beberapa komponen *lead-time*.

5. Penelitian ini mengembangkan dari model Wangsa & Wee (2017), Tiwari *et al.* (2020), Sarkar & Giri (2020).

1.4 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah diatas maka didapatkan tujuan dari penelitian ini yaitu mengembangkan model integrasi persediaan antara El-Rahma Batik dan Titin Batik dimana pola permintaan yang probabilistik, sistem produksi tidak sempurna, adanya perbaikan kualitas proses produksi, *crashing lead-time* dan *backorder price discount* serta penurunan biaya pesan dan biaya *setup* dengan mempertimbangkan kebijakan *pickup service* dalam logistik. Penelitian ini juga mampu mengoptimalkan variabel keputusan pada model yang dibangun sehingga menghasilkan total biaya gabungan yang minimum.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat diantaranya:

1. Dapat memberikan keputusan dan rekomendasi yang optimal pada perusahaan.
2. Sebagai pengembangan keilmuan mengenai sistem rantai pasok dan persediaan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tesis ini dilakukan sesuai sistematika penulisan, yaitu sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan kondisi sistem pada perusahaan El-Rahma Batik dan Titin Batik. Kemudian dibuat rumusan masalah berdasarkan permasalahan yang dijelaskan pada latar belakang. Selanjutnya dijelaskan tujuan penelitian dan manfaat penelitian yang mengoptimalkan total biaya gabungan El-Rahma Batik dan Titin Batik sehingga dibuat batasan penelitian untuk lebih fokus pada tujuan. Pada Bab ini ditutup dengan sistematika penulisan yang dilakukan dalam penulisan tesis.

Bab II Tinjauan Literatur

Pada Bab ini menjelaskan tentang penelitian-penelitian yang terdahulu dan posisi penelitian yang dilakukan. Bab ini juga menjelaskan konsep dan teori yang mendukung penelitian, konsep *backorder price discount*, konsep proses produksi tidak sempurna, konsep mempertimbangkan perbaikan kualitas, konsep penurunan *setup*/pesan, konsep *lead time* manufaktur, konsep percepatan *lead time* dan tinjauan model dari Wangsa & Wee (2017) sebagai model dasar penelitian.

Bab III Metodologi Penelitian dan Pengembangan Model

Pada Bab ini menjelaskan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian. Adapun tahapan penelitian diantaranya menjelaskan obyek dan subyek penelitian, langkah penelitian yang disajikan dalam bentuk diagram alir penelitian. Selanjutnya penjelasan kerangka pikir penelitian dan karakteristik sistem yang menjelaskan bagian yang saling berkaitan untuk mencapai tujuan. Langkah terakhir adalah menjelaskan tahapan pengembangan model matematika, verifikasi model dan pengembangan algoritma solusi dari penelitian sebelumnya dalam konteks JELS pemasok tunggal dan pembeli tunggal.

Bab IV Implementasi Model

Model-model yang telah dibangun akan diaplikasikan kedalam studi kasus pada El-Rahma Batik dan Titin Batik. Adapun data-data yang diperlukan dari El-Rahma Batik yaitu data produksi, data biaya-biaya pengadaan, biaya simpan dan biaya lainnya. Kemudian pada data pembeli yaitu Titin Batik yaitu data historis pembelian, biaya pengadaan, biaya simpan, biaya *shortage* dan biaya lainnya. Adapun data dari pihak logistik yang diperlukan adalah biaya bahan bakar dan biaya *pickup service*.

Bab V Analisa dan Pembahasan

Selanjutnya dilakukan analisis terhadap perubahan-perubahan parameter dalam beberapa kondisi yang diberikan terhadap variabel keputusan dan kriteria performansi.

Bab VI Kesimpulan dan Saran

Pada bab terakhir ini menyimpulkan hasil penelitian sesuai dengan tujuan yang telah dirumuskan dan saran berupa kemungkinan penelitian ini akan dilanjutkan.



BAB II

TINJAUAN LITERATUR

Pada Bab ini menjelaskan tentang penelitian-penelitian yang terdahulu dan posisi penelitian yang dilakukan (*subbab* 2.1). Bab ini juga menjelaskan konsep dan teori yang mendukung penelitian (*subbab* 2.2), konsep *backorder price discount* (*subbab* 2.3), konsep proses produksi tidak sempurna (*subbab* 2.4), konsep investasi perbaikan kualitas proses produksi (*subbab* 2.5), konsep *lead time* manufaktur (*subbab* 2.6), konsep percepatan *lead time* (*subbab* 2.7) dan pada *subbab* 2.8 adalah tinjauan model Wangsa dan Wee (2017) sebagai model dasar penelitian.

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian model EOQ/EPQ yang mempertimbangkan proses produksi tidak sempurna pada sebuah pemasok pertama kali dikembangkan oleh Salameh & Jaber (2000). Kemudian penelitian yang berbasis pada model gabungan pada sistem rantai pasok yang pertama kali diperkenalkan oleh Pan & Yang (2002). Pada model Pan & Yang (2002) telah dimasukan variabel permintaan probabilistik dan *crashing lead-time*. Kemudian penelitian dilanjutkan oleh Ben-Daya & Hariga (2004) dan Ouyang *et al.* (2004) dengan mengakomodir biaya *shortage*. Kemudian penelitian dilanjutkan oleh Yang & Pan (2004) dengan mempertimbangkan proses produksi tidak sempurna. Pada model tersebut, mereka mengoptimalkan probabilitas *out-of-control*. Selanjutnya model Salameh & Jaber (2000) yang mempertimbangkan *imperfect quality* dan *shortage* atau *backorder* dikembangkan oleh Wee *et al.* (2007). Maddah & Jaber (2008) merevisi model Salameh & Jaber (2000) dengan menambah proses inspeksi pada ukuran *batch* yang diproduksi oleh pemasok. Selanjutnya Ouyang *et al.* (2007) dan Vijayashree & Uthayakumar (2015) membangun model dengan menggabungkan model Yang & Pan (2004) dan model Ouyang *et al.* (2004). Pada model tersebut memiliki karakteristik yaitu permintaan probabilistik, *crashing lead-time*, biaya *shortage*, proses produksi tidak sempurna dan optimalisasi

probabilitas *out-of-control*. Yoo *et al.* (2012) melakukan penelitian pada sistem produksi tidak sempurna dengan mempertimbangkan adanya *rework*, *quality improvement*, *inspection errors* dan *return*. Sarkar & Moon (2014) melakukan penelitian model EOQ dengan permintaan probabilistik mempertimbangkan variabel percepatan *lead-time*, penurunan biaya setup, dan perbaikan kualitas pada proses produksi tidak sempurna. Selanjutnya Sarkar *et al.* (2015c) mengembangkan model EOQ pada sistem produksi tidak sempurna dengan mempertimbangkan perbaikan kualitas, percepatan *lead-time*, dan *backorder price discount*.

Dalam situasi praktis jika terjadi *shortage* maka semakin panjang *lead-time* (semakin lama) maka semakin besar juga jumlah kekurangan persediaan dan semakin kecil kualitas pelayanan pada pelanggan akhir. Dengan kata lain, apabila pihak pembeli dapat menawarkan potongan *backorder price* (*backorder price discount*) kepada pelanggan akhir pada *shortage* persediaan maka pelanggan akhir akan bersedia menunggu barang yang diinginkan dan kualitas pelayanan menjadi meningkat. Fenomena ini menunjukkan bahwa, ketidakpuasan karena terjadinya *shortage* dapat membuat kerugian pada pembeli sehingga diputuskan untuk mengoptimalkan rasio *backorder* melalui potongan harga tersebut. Jauhari *et al.* (2011) mengembangkan model ukuran lot gabungan dua eselon pada permintaan probabilistik dengan mempertimbangkan *lead-time* yang bergantung terhadap ukuran lot pemesanan. Semakin besar ukuran lot maka semakin panjang *lead-time* nya dan sebaliknya. Hoque (2013) mengembangkan model ukuran lot gabungan *vendor-buyer* dengan mengasumsikan *lead-time* penerimaan barang ke buyer dengan berdistribusi ekponensial. Jindal & Solanki (2016) meneliti penentuan persediaan gabungan pada sistem rantai pasok untuk pemasok tunggal dan pembeli tunggal dengan mempertimbangkan permintaan probabilistik *crashing lead-time*, biaya *shortage*, proses produksi tidak sempurna, perbaikan kualitas dan *backorder price discount*. Mukherjee *et al.* (2019) melakukan penelitian penentuan ukuran lot pada pembeli tunggal dan pemasok tunggal yang mempertimbangkan *backorder price discount*, proses produksi tidak sempurna, perbaikan kualitas serta biaya transportasi yang konstan terhadap ukuran lot pemesanan. Kurdhi & Doewes (2019) mengembangkan model ukuran *batch* produksi

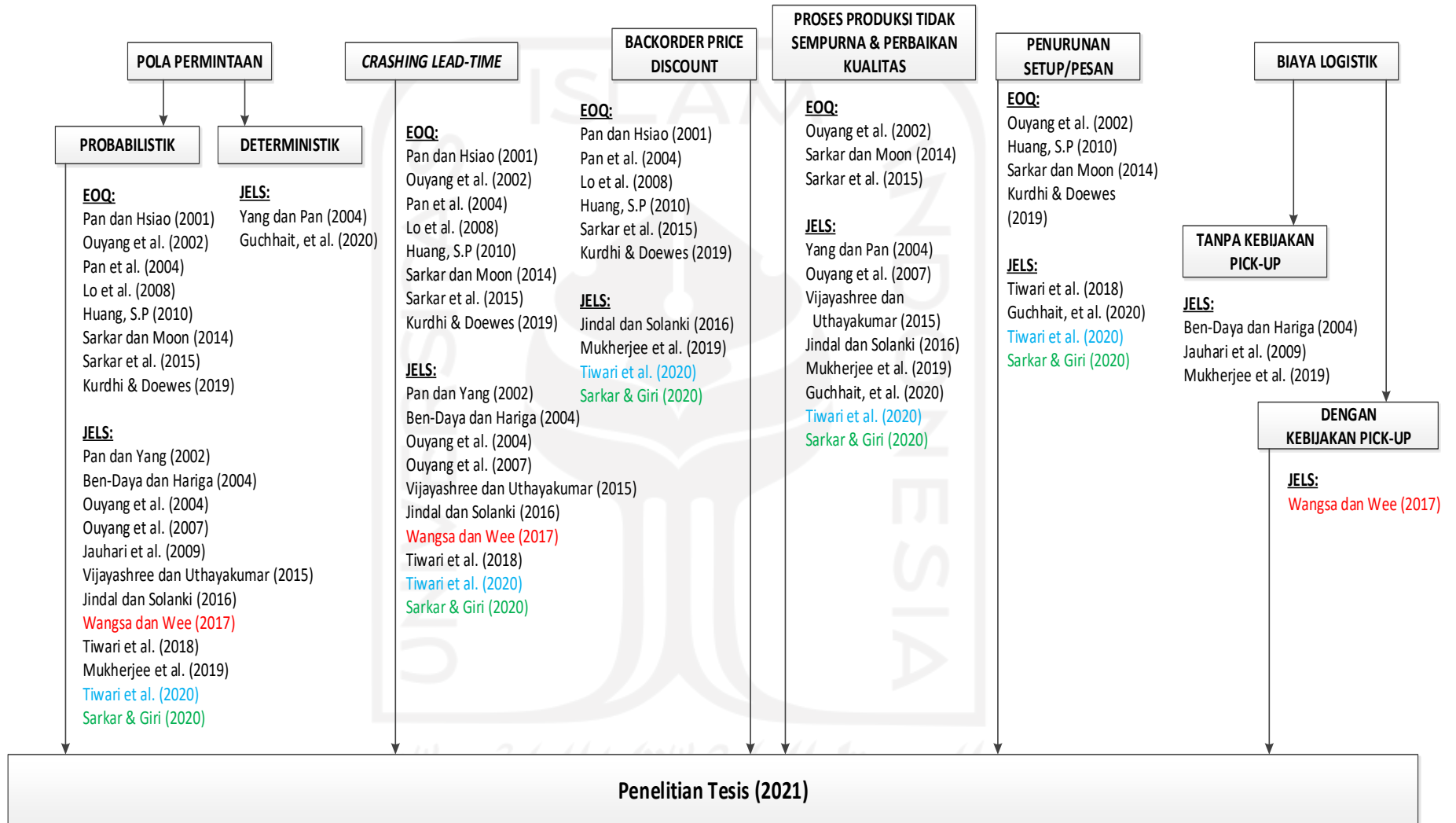
pada pemasok (EPQ) dengan mempertimbangkan *backorder price discount*, penurunan biaya pesan, dan percepatan *lead-time*.

Dalam dunia industri dikenal aktivitas *setup*/pesan yang dimana aktivitas tersebut merupakan aktivitas yang tidak dapat dihindar dan *non-added value*. Akan tetapi biaya yang ditimbulkan dari aktivitas *setup*/pesan mempengaruhi total biaya persediaan. Oleh karena itu penurunan biaya *setup*/pesan dapat memberikan kontribusi penurunan total biaya persediaan. Sarkar *et al.* (2015a) mengembangkan model EOP/EPQ dengan mempertimbangkan permintaan probabilistik, perbaikan kualitas, penurunan biaya *setup*, dan batasan tingkat pelayanan. Kemudian Sarkar *et al.* (2015b) mengembangkan model JELS dengan mempertimbangkan penurunan biaya *setup* dan ukuran lot yang tidak sama (*unequal lot size*). Pada penelitian Tiwari *et al.* (2018), mengoptimalkan total biaya persediaan dengan mempertimbangkan penurunan biaya *setup*/pesan, permintaan probabilistik, dan *crashing lead-time*. Penelitian lanjutan dari Sarkar *et al.* (2015a) yang mempertimbangkan ukuran *lot* gabungan pada proses produksi tidak sempurna dengan mempertimbangkan perbaikan kualitas dan penurunan biaya pesan dikembangkan oleh Guchhait *et al.* (2020). Tiwari *et al.* (2020) mengembangkan model dalam penentuan ukuran *lot* gabungan dengan permintaan yang stokastik melibatkan percepatan *lead-time*, *backorder price discount*, proses produksi tidak sempurna dan penurunan biaya *setup*. Selanjutnya pada Sarkar & Giri (2020) meneliti pada sistem rantai pasok dua eselon dengan mempertimbangkan percepatan *lead-time*, *backorder price discount*, proses produksi tidak sempurna, perbaikan kualitas, dan penurunan biaya pesan.

Dewasa ini, perkembangan teknologi dan jasa pengiriman logistik berkembang sangat cepat. Beberapa jenis jasa logistik yang ditawarkan saat ini seperti *same-day-delivery*, *next-business-day delivery*, *door-to-door*, dan *pickup delivery*. Abad & Aggarwal (2005) mengembangkan model EOQ dengan mempertimbangkan biaya transportasi. Nie *et al.* (2006) mengembangkan model JELS dengan mempertimbangkan dua biaya transportasi yaitu *truck-load* (TL) and *less-than-truck-load* (LTL). Model ukuran lot gabungan *vendor-buyer* dengan mempertimbangkan diskon pada biaya transportasi untuk semua unit dikembangkan oleh Ertogral *et al.* (2007). Darwish (2008)

mengoptimalkan secara bersama-sama untuk variabel ukuran lot pemesanan dan titik pemesanan ulang (ROP) pada permintaan probabilistik dengan mempertimbangkan biaya transportasi. Model EOQ dengan mempertimbangkan dua diskon pada biaya transportasi yaitu *all-weight freight discount* dan *incremental freight discount* dikembangkan Mendoza & Ventura (2008). Glock (2012) mengembangkan model ukuran lot pemesanan gabungan pada pemasok tunggal dan pembeli tunggal dengan mempertimbangkan pengurangan *lead time*, permintaan probabilistik, dan penurunan waktu setup dan transportasi. Selanjutnya Leuveano *et al.* (2014a; 2014b) mengembangkan model dari Nie *et al.* (2006) dengan melakukan penelitian mengenai integrasi sistem rantai pasok antara pemasok dan pembeli dengan mempertimbangkan biaya transportasi yang melibatkan beban muatan dan jarak antara pemasok dan pembeli. Gurtu *et al.* (2015) mengembangkan model ukuran lot pemesanan untuk eselon tunggal (EOQ) dengan menganalisis dampak harga bahan bakar transportasi dan pajak emisi karbon. Kemudian Jauhari *et al.* (2016) melanjutkan model Mendoza & Ventura (2008) dengan mengembangkan model ukuran lot gabungan dua eselon dan menganalisis dua model diskon pada biaya transportasi yaitu *all-weight freight discount* dan *incremental freight discount*. Penelitian yang dikembangkan oleh Wangsa & Wee (2017) pada sistem rantai pasok yang melibatkan pemasok tunggal dan pembeli tunggal, dengan mempertimbangkan permintaan probabilistik, *crashing lead-time*, biaya BBM, konsumsi BBM kendaraan, jarak antara pemasok dan pembeli, dan beban muatan kendaraan.

Pada tesis ini terdapat celah penelitian yang dapat dikembangkan dengan memperhatikan model integrasi persediaan antara pemasok dan pembeli tunggal. Penelitian ini juga memiliki karakteristik yaitu permintaan probabilistik, *crashing lead-time*, biaya *shortage*, proses produksi tidak sempurna (biaya *rework*), perbaikan kualitas proses produksi, biaya logistik, kebijakan *pick-up*, dan penurunan biaya *setup*/pesanan. Berikut adalah diagram dan tabel posisi penelitian pada Gambar 2.1 dan Tabel 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Posisi Penelitian

Tabel 2.1 Posisi Penelitian

No	Peneliti	Model	Pola Permintaan	Percepatan Lead-time	Backorder Price Discount	Proses Pro-duksi Tidak Sempurna	Perbaikan Kualitas	Penurunan Biaya Setup / Pesan	Biaya Logistik	Kebijakan Pick-up
1.	Salameh & Jaber (2000)	EOQ	Deterministik	-	-	√	-	-	-	-
2.	Pan & Hsiao (2001)	EOQ	Probabilistik	√	√	-	-	-	-	-
3.	Pan & Yang (2002)	JELS	Probabilistik	√	-	-	-	-	-	-
4.	Ouyang <i>et al.</i> (2002)	EOQ	Probabilistik	√	-	√	√	√	-	-
5.	Ben-Daya & Hariga (2004)	JELS	Probabilistik	√	-	-	-	-	√	-
6.	Pan et al. (2004)	EOQ	Probabilistik	√	√	-	-	-	-	-
7.	Yang & Pan (2004)	JELS	Deterministik	√	-	√	√	-	-	-
8.	Ouyang <i>et al.</i> (2004)	JELS	Probabilistik	√	-	-	-	-	-	-
9.	Abad & Aggarwal (2005)	EOQ	Deterministik	-	-	-	-	-	√	-
10.	Nie <i>et al.</i> (2006)	JELS	Deterministik	-	-	-	-	-	√	-
11.	Ertogral <i>et al.</i> (2007)	JELS	Deterministik	-	-	-	-	-	√	-
12.	Ouyang <i>et al.</i> (2007)	JELS	Probabilistik	√	-	√	√	-	-	-
13.	Wee <i>et al.</i> (2007)	EOQ	Deterministik	-	-	√	-	-	-	-
14.	Darwish (2008)	EOQ	Probabilistik	-	-	-	-	-	√	-
15.	Lo et al. (2008)	EOQ	Probabilistik	√	√	-	-	-	-	-
16.	Maddah & Jaber (2008)	EOQ	Deterministik	-	-	√	-	-	-	-
17.	Mendoza & Ventura (2008)	EOQ	Deterministik	-	-	-	-	-	√	-
18.	Jauhari <i>et al.</i> (2009)	JELS	Probabilistik	-	-	-	-	-	√	-
19.	Huang (2010)	EOQ	Probabilistik	√	√	-	-	√	-	-
20.	Jauhari <i>et al.</i> (2011)	JELS	Probabilistik	-	-	-	-	-	-	-
21.	Glock (2012)	JELS	Probabilistik	√	-	-	-	√	√	-
22.	Yoo <i>et al.</i> (2012)	EOQ	Deterministik	-	-	√	√	-	-	-
23.	Hoque (2013)	JELS	Deterministik	-	-	-	-	-	√	-

No	Peneliti	Model	Pola Permintaan	Percepatan Lead-time	Backorder Price Discount	Proses Pro-duksi Tidak Sempurna	Perbaikan Kualitas	Penurunan Biaya Setup / Pesan	Biaya Logistik	Kebijakan Pick-up
24.	Leuveano <i>et al.</i> (2014a)	JELS	Deterministik	-	-	-	-	-	√	-
25.	Leuveano <i>et al.</i> (2014b)	JELS	Deterministik	-	-	-	-	-	√	-
26.	Sarkar & Moon (2014)	EOQ	Probabilistik	√	-	√	√	√	-	-
27.	Gurtu <i>et al.</i> (2015)	EOQ	Deterministik	-	-	-	-	-	√	-
28.	Sarkar <i>et al.</i> (2015a)	EOQ	Probabilistik	-	-	√	√	√	-	-
29.	Sarkar <i>et al.</i> (2015b)	JELS	Deterministik	-	-	-	-	√	-	-
30.	Sarkar <i>et al.</i> (2015c)	EOQ	Probabilistik	√	√	√	√	-	-	-
31.	Vijayashree & Uthayakumar (2015)	JELS	Probabilistik	√	-	√	√	-	-	-
32.	Jauhari <i>et al.</i> (2016)	JELS	Probabilistik	-	-	-	-	-	√	-
33.	Jindal & Solanki (2016)	JELS	Probabilistik	√	√	√	√	-	-	-
34.	Wangsa & Wee (2017)	JELS	Probabilistik	√	-	-	-	-	√	√
35.	Tiwari <i>et al.</i> (2018)	JELS	Probabilistik	√	-	-	-	√	-	-
36.	Mukherjee <i>et al.</i> (2019)	JELS	Probabilistik	-	√	√	√	-	√	-
37.	Kurdhi & Doewes (2019)	EPQ	Probabilistik	√	√	-	-	√	-	-
38.	Guchhait, <i>et al.</i> (2020)	JELS	Deterministik	-	-	√	√	√	-	-
39.	Tiwari <i>et al.</i> (2020)	JELS	Probabilistik	√	√	√	-	√	-	-
40.	Sarkar & Giri (2020)	JELS	Probabilistik	√	√	√	√	√	-	-
41.	Proposal Tesis (2021)	JELS	Probabilistik	√	√	√	√	√	√	√

2.2 Landasan Teori

Dalam kajian deduktif merupakan landasan teori yang digunakan sebagai acuan untuk memecahkan masalah penelitian.

2.2.1 *Supply Chain Management*

Cohen & Roussel (2005) mengklasifikasi 4 pola kerja sama dalam rantai pasok, yaitu:

1. Transaksional

Pola kerja sama dengan integrasi paling rendah antara pemasok dan pembeli. Disini kerja sama dilakukan sebatas pada hal-hal yang mempermudah kegiatan jual beli atau transaksi. Pemasok dan pembeli sepakat atas sesuatu kriteria produk dalam jumlah dan harga tertentu dan untuk suatu jangka tertentu. Tidak ada *sharing information* yang dilakukan selain informasi yang berhubungan dengan kegiatan transaksi. Hingga saat ini kerja sama dengan pola ini paling umum diterapkan dan masih dilakukan manual.

2. Kooperasi

Pada pola ini, sudah mulai terdapat *sharing information* yang lebih banyak antara pihak yang bekerja sama. Sebagai contoh, pihak pembeli bersedia menginformasikan ramalan permintaan dan status persediaannya kepada pihak pemasok sehingga pemasok dapat memanfaatkan informasi ini untuk meng-optimalkan sistem produksinya sekaligus meningkatkan pelayanan terhadap pemenuhan permintaan pembeli. Informasi dapat disampaikan dengan bantuan media teknologi informasi, misal: internet *based-supplier portal*, ekstranet atau *electronic data interchange* (EDI).

3. Koordinasi

Pada level koordinasi, hubungan antar pihak semakin erat karena sudah menyangkut negoisasi dan kompromi. Informasi yang mengalirpun bersifat 2 arah dalam menyelaraskan perencanaan dan proses eksekusi. Karena hubungan ini sudah semakin komplek dan membutuhkan ekstra biaya dan waktu, maka kedua belah pihak memiliki ekspektasi akan memperoleh keuntungan dari kerja sasma yang dilakukan. Contoh kerja sama ini adalah *vendor-managed inventory* (VMI). Dalam

VMI, sistem persediaan pemasok sepenuhnya dikelola oleh pihak pemasok dan pihak pemasok menjamin bahwa pemasok tidak mengalami kekurangan.

4. Sinkronisasi

Pada level ini, kedua belah pihak bekerja sama menyangkut hampir disemua aspek bisnis yang dianggap penting. Kedua belah pihak memanfaatkan data bersama, melakukan penelitian dan pengembangan desain produk serta bersama bahkan penggunaan asset intelektual bekerja sama seperti tenaga ahli. Pola kerja sana ini lebih fokus pada tujuan jangka panjang dan disebut juga dengan analisa strategi.

2.2.2 Sistem Persediaan

Sistem persediaan merupakan hal yang sangat penting bagi perusahaan. Pada prinsipnya persediaan berguna untuk mengakomodasi permintaan ataupun kebutuhan yang muncul dalam waktu yang cepat sehingga kelancaran pemenuhan permintaan ataupun kebutuhan dapat terjamin dengan mempertimbangkan biaya yang akan timbul. Menurut Bahagia (2006), terdapat 3 motif perusahaan memiliki persediaan:

a. Motif transaksi

Motif transaksi adalah motif untuk menjamin pemenuhan terhadap permintaan yang datang.

b. Motif berjaga-jaga

Motif untuk meredam ketidakpastian, baik yang berasal dari konsumen maupun pemasok.

c. Motif spekulasi

Motif dengan harapan mendapatkan keuntungan berlipat dikemudian hari.

Tersine (1994) membagi sistem persediaan menjadi 4 (empat) katagori:

1. *Supplies* adalah persediaan yang digunakan untuk mempermudah aktivitas perusahaan dan tidak berkaitan langsung dengan sistem produksi.
2. *Raw material* adalah produk atau komponen yang berasal dari pemasok yang merupakan bahan mentah untuk diolah dalam proses produksi selanjutnya.

3. *In-process goods* atau produk setengah jadi adalah produk yang masih berada dalam proses produksi dan menunggu proses selanjutnya.
4. *Finished good* atau barang jadi adalah produk akhir yang siap untuk dijual atau disimpan untuk dijual.

Sistem persediaan memiliki dua ukuran kinerja yaitu tingkat pelayanan dan biaya persediaan. Tingkat pelayanan yang baik ditunjukkan oleh besarnya proporsi permintaan yang sanggup dipenuhi sistem persediaan terhadap seluruh permintaan yang datang. Disamping itu, terdapat biaya persediaan yang muncul akibat pengadaan maupun pemeliharaan yang dilakukan terhadap persediaan tersebut.

2.2.3 Komponen Biaya Persediaan

Biaya persediaan merupakan biaya yang terjadi karena menyimpan suatu produk di gudang untuk periode waktu tertentu. Biaya persediaan terdiri dari beberapa elemen biaya yang relevan. Menurut Hax & Candea (1984) biaya yang relevan terbagi menjadi tiga katagori yaitu biaya penyediaan, biaya yang terjadi karena produksi melebihi permintaan, biaya yang terjadi jika produksi tidak dapat memenuhi permintaan. Adapun komponen biaya persedian adalah biaya pembelian, biaya simpan, dan biaya *shortage* (Tersine, 1994). Adapun penjelasan secara singkat masing-masing komponen adalah sebagai berikut:

1. Biaya pembelian merupakan biaya yang dikeluarkan untuk membeli barang. Adapun yang mempengaruhi biaya pembelian menjadi tinggi adalah jumlah barang yang dibeli dan harga satuan barang. Komponen biaya pembelian tidak mempengaruhi keputusan optimal mengenai jumlah barang yang akan dipesan. Hal ini dikarenakan komponen biaya pembelian pada waktu tertentu bersifat statis sehingga tidak dimasukan ke dalam total biaya persediaan.
2. Biaya pengadaan secara umum terdiri dari dua jenis, yaitu:
 - a. Biaya pemesanan adalah biaya yang tidak tergantung pada jumlah unit yang dipesan bersifat tetap dan muncul karena untuk mengadakan barang. Biaya ini terdiri dari biaya untuk keperluan suplai (pemasok), biaya

administrasi, pengetikan pesanan, pengiriman pesanan, biaya pemindahan dari barang yang dipesan, biaya penerimaan, biaya inspeksi, dan seterusnya.

- b. Biaya *setup cost* adalah komponen biaya yang muncul untuk setiap kali melakukan persiapan produksi barang. Adapun komponen biaya tersebut yaitu biaya menyusun peralatan produksi, menyetel mesin, mempersiapkan gambar kerja dan seterusnya.
3. Biaya simpan (*holding cost*) suatu perusahaan mempunyai kisaran diantara 20-26% per tahun dari nilai produk. Pada suatu manajemen persediaan, biaya simpan per unit diasumsikan linear terhadap jumlah barang yang ada ditempat penyimpanan (misalnya Rp/unit/tahun). Biaya simpan mempunyai komponen-komponen biaya diantaranya:
 - a. Biaya modal atau *cost of capital* adalah bagian komponen biaya yang paling besar dari komponen biaya simpan dibandingkan dengan komponen biaya yang lainnya. Biasanya *cost of capital* suatu perusahaan mempunyai range antara 10-15%.
 - b. Biaya gudang atau *storage cost* merupakan biaya yang muncul pada saat menyimpan suatu barang di gudang. Biaya gudang ada dua macam yaitu biaya sewa dan biaya *depresiasi*. Biaya sewa adalah biaya yang gudang dan peralatannya bukan milik sendiri sehingga mengharuskan untuk menyewa. Sebaliknya, biaya *depresiasi* terjadi jika perusahaan memiliki gudang sendiri. Komponen biaya gudang mempunyai persentase antara 4-5%.
 - c. Biaya keusangan, penyusutan, dan kadaluwarsa terjadi karena barang yang disimpan mengalami kerusakan, penyusutan serta penurunan nilai. Hal itu disebabkan karena bobot dari barang telah berkurang dari kondisi awal ataupun terjadi kehilangan sehingga jumlah barang menjadi berkurang dan dengan kemajuan teknologi menyebabkan penurunan nilai jual dari suatu

- barang. Adapun, persentase biaya keusangan, penyusutan, dan kadaluwarsa biasanya 3-5%.
- d. Biaya asuransi, pajak, administrasi dan pemindahan merupakan komponen biaya dari biaya simpan yang biasanya mempunyai range antara 5-10%. Biaya asuransi bertujuan untuk menjaga asset yaitu barang dari suatu yang tidak diinginkan seperti kebakaran, banjir, dan lain-lain. Biaya pajak, administrasi dan pemindahan adalah biaya untuk mengadministrasi persediaan barang yang ada pada saat pemesanan, penerimaan barang maupun penyimpanannya serta biaya untuk memindahkan barang dari tempat asal sampai ke dalam tempat tujuan penyimpanan, termasuk upah buruh dan biaya peralatan handling.
4. Biaya kekurangan atau *stock-out cost* adalah biaya yang terjadi karena kondisi permintaan melebihi persediaan di gudang. Kondisi ini menyebabkan perusahaan mengalami kerugian sehingga dapat kehilangan kesempatan memperoleh keuntungan (*lost sales*) dan pelanggan merasa kecewa sehingga berpindah pesaing lain. Biaya ini dapat dihitung dari:
- a. Jumlah persediaan berada dibawah level permintaan. Kondisi ini sering dikaitkan dengan biaya biaya pinalti atau denda pada perusahaan.
 - b. Semakin *lead-time* panjang (lama proses produksi atau pengiriman) maka akan menyebabkan persediaan menunggu hingga barang tersebut diterima dari pemasok. Sehingga waktu menganggur tersebut dapat diartikan sebagai uang hilang.
 - c. Konsumen sewaktu-waktu memerlukan barang secara tiba-tiba sehingga diperlukan persediaan tambahan sebagai persediaan darurat. Oleh karena itu diperlukan pengadaan darurat yang biasanya lebih besar dari pengadaan normal.

2.2.4 Konsep Persediaan Probabilistik

Resiko dan ketidakpastian pada analisis persediaan disebabkan oleh banyaknya variabel, misalnya adalah fluktuasi permintaan dan *lead-time*. Fluktuasi tersebut menyebabkan

perlu adanya persediaan penyangga (*safety stock*). Persediaan penyangga adalah persediaan darurat yang berfungsi untuk mengurangi resiko kekurangan persediaan dalam menghadapi gangguan-gangguan yang datang tanpa diprediksi dari internal maupun eksternal. Persediaan penyangga ini diperlukan untuk menghadapi lonjakan tingkat permintaan selama masa *reorder point*. Hal ini dilakukan dalam kasus permintaan melebihi dari stok yang ada digudang atau semakin panjang *lead-time* suatu barang dari *lead-time* yang telah ditargetkan. Persediaan penyangga yang optimal memiliki dua pengaruh yaitu mengurangi biaya persediaan dan meningkatkan *service level*.

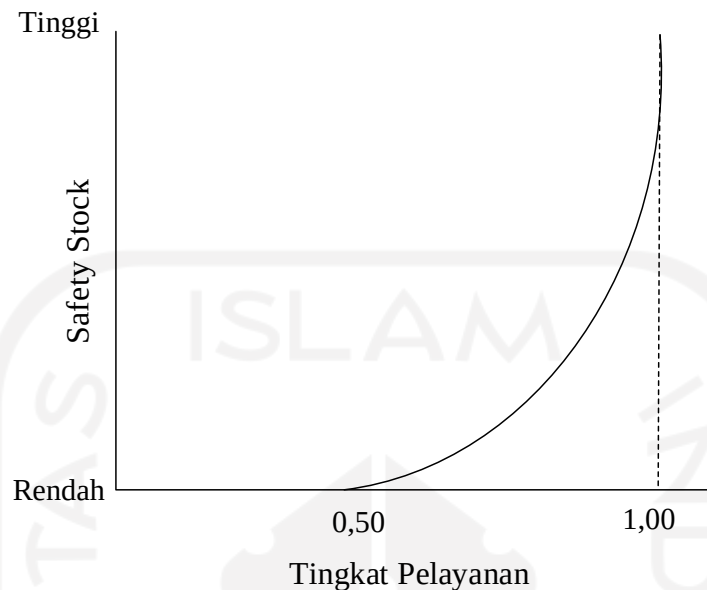
Dalam sistem persediaan klasik (sistem jumlah pemesanan tetap, EOQ) dikenal dengan istilah *reorder point*. *Reorder point* adalah titik dimana pemesanan ulang dapat dilakukan. Pada saat stok mencapai titik *reorder point* maka akan dilakukan pemesanan dengan jumlah kuantitas pemesanan yang tetap (sebesar Q unit). Persediaan penyangga diperlukan untuk mencegah kekurangan persediaan pada saat mencapai titik *reorder point* sampai pesanan barang telah diterima. Oleh karena itu persediaan penyangga adalah salah satu faktor penting dari titik pemesanan ulang. Adapun rumusan titik pemesanan ulang (ROP) sebagai berikut:

$$ROP = \text{rata - rata demand selama lead time} + \text{safety stock (SS)} \quad \dots (2.1)$$

Beberapa faktor penyebab ketidakpastian dalam suatu perusahaan, yaitu:

1. Tingkat akurasi peramalan yang rendah, dan
2. *Lead-time* yang panjang misal pengiriman yang terlambat atau produksi yang lama.

Kedua faktor diatas dapat berperan untuk terjadinya *stockout* pada *safety stock*. Setiap penambahan persediaan penyangga akan memberikan penambahan biaya simpan. Sehingga dalam persediaan probabilistik perlu dioptimalkan faktor pengaman yang dapat menurunkan biaya simpan. Adapun ilustrasi antara *safety stock* dan tingkat pelayanan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Hubungan *Safety Stock* dengan *Service Level* (Tingkat Pelayanan)

2.2.5 Kekurangan Persediaan

Dalam penentuan *safety stock* (SS) yang optimal akan dilakukan dengan melakukan penyeimbangan antara tingkat pelayanan dan biaya simpan. Keadaan kekurangan persediaan dapat diatasi dengan 2 cara, yaitu:

1. Pemesanan ulang (*backorder*), melakukan pemesanan darurat untuk memenuhi kekurangan persediaan, dikarenakan permintaan melebihi stok yang ada di gudang. Biasanya biaya *backorder* yang ditimbulkan lebih tinggi dari pemesanan normal.
2. Kehilangan penjualan (*lost sales*), yaitu perusahaan membiarkan tidak terpenuhi pesanan pelanggan dan menyebabkan pelanggan mencari barang di tempat lain. Biaya ini dalam kondisi ini disebut dengan biaya *lost sales*.

Ouyang *et al.* (2007) mengusulkan adanya *backorder* dan *lost sales*. Adapun persamaan berikut ini:

1. Ekspektasi jumlah *backorder* $= \beta \sigma \sqrt{L} \psi(k)$
2. Ekspektasi jumlah *lost sales* $= (1 - \beta) \sigma \sqrt{L} \psi(k)$

Sehingga biaya terjadi *shortage* dalam per unit waktu adalah sebagai berikut:

$$O_s = [\pi_x \beta + \pi_0 (1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \psi(k) \frac{D}{Q} \quad \dots (2.2)$$

Dimana:

π_x = *backorder price* /unit akibat *backorder* (Rp/unit)

π_0 = *gross marginal* / unit akibat *lost sales* (Rp/unit)

β = *rasio backorder* ($0 \leq \beta \leq 1$)

$\sigma \sqrt{L}$ = standar deviasi permintaan selama *lead-time* (unit/tahun)

$\psi(k) = \phi(k) - k (1 - \phi(k)) > 0$

D = total permintaan selama 1 tahun (unit/tahun)

Q = ukuran lot pemesanan (unit)

2.3 *Backorder Price Discount*

Selama periode kehabisan stok, maka semua permintaan akan dipesan ulang, dimana semua pelanggan bersedia menunggu sampai permintaan mereka tercukupi, atau biasa terjadi kehilangan penjualan. Namun, dalam kondisi nyata banyak sistem persediaan dimana permintaan mereka bisa ditunda (misal indent mobil). Untuk pelanggan yang kebutuhannya tidak penting pada saat itu bisa menunggu untuk produk tersebut yang akan dipenuhi dikemudian, sementara bagi pelanggan yang tidak sabar akan kebutuhan tersebut, mereka akan mencari produk lain (*lost sales*). Biaya kehilangan penjualan berkisar antar dari kehilangan keuntungan pada penjualan hingga kerugian dari sisi kepercayaan.

Dalam rangka untuk memenuhi permintaan pelanggan dimana pelanggan mau menunggu, kemudian peralatan yang menganggur atau bahkan hilang produksi selama masa kehabisan stok, pembeli dapat menawarkan potongan *backorder price* untuk *stokout item* tersebut tergantung pada jumlah pemesanan ulang. Dengan demikian, baik *backorder price discount* dan *lead-time* tampaknya dapat dinegoisasi sedemikian rupa sehingga pembeli dapat mengurangi kerugian kehilangan penjualan pada masa sekarang dan masa yang akan datang dan pelanggan mungkin bisa mendapatkan produk sesegera

mungkin. Dengan pembeli menawarkan *backorder price discount* kepada pelanggan maka akan dapat memotivasi keinginan pelanggan untuk pemesanan ulang. Maka diasumsikan bahwa pembeli dapat menawarkan *backorder price discount* untuk pelanggan selama periode *shortage* atau *stokout* (Pan & Hsiao, 2001; Pan *et al.*, 2004; Lo *et al.*, 2008; Huang, 2010; Sarkar, *et al.*, 2015c; Jindal & Solanki, 2016; Mukherjee *et al.*, 2019; Sarkar & Giri, 2020; Tiwari *et al.*, 2020).

$$\beta = \frac{\beta_0 \pi_x}{\pi_0} \quad \dots (2.3)$$

dimana:

- β = rasio *backorder* optimal ($0 \leq \beta \leq 1$)
- β_0 = rasio *backorder* awal ($0 \leq \beta_0 \leq 1$)
- π_x = *backorder price* /unit pada kasus *backorder* (Rp/unit)
- π_0 = *gross marginal* / unit pada kasus *lost sales* (Rp/unit)

2.4 Proses Produksi Tidak Sempurna

Porteus (1986) mengusulkan sebuah model pada proses produksi yang tidak sempurna. Model integrasi inventori yang diusulkan adalah difokuskan pada situasi produksi pemasok, dimana tiap kali pesanan, produksi akan dimulai dan sejumlah konstan unit ditambahkan ke persediaan setiap hari sampai proses produksi telah berakhir. Pemasok memproduksi produk dengan ukuran produksi, mQ dengan *probability out-off-control* tertentu, θ . Porteus (1986) mengusulkan perkiraan jumlah produk yang akan mengalami cacat pada ukuran produksi, mQ dapat dirumuskan sebagai berikut $\frac{m^2 Q^2 \theta}{2}$. Jika g adalah biaya melakukan pengerjaan ulang pada produk yang rusak, dan ukuran produksi untuk pemasok adalah mQ . Sehingga perkiraan total biaya tahunan yang mempertimbangkan biaya cacat per tahun dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$\text{Total biaya rework} = \frac{gmQD\theta}{2} \quad \dots (2.4)$$

2.5 Investasi Perbaikan Kualitas Proses Produksi

Peningkatan kualitas diartikan sebagai suatu upaya perusahaan dalam meningkatkan kualitas proses produksinya dengan menambah biaya yang dikeluarkan. Biaya yang dikeluarkan adalah berupa modal dalam perbaikan kualitas tersebut. Dalam perbaikan kualitas ini digunakan pendekatan fungsi algoritma yang diusulkan pertama kali oleh Porteus (1986). Penelitian yang berkaitan dengan ukuran lot dan peningkatan kualitas telah banyak diteliti oleh Yang & Pan (2004), Ouyang *et al.* (2007), Sarkar & Moon (2014), Sarkar, *et al.* (2015) Vijayashree & Uthayakumar (2015), Jindal & Solanki (2016), Mukherjee *et al.* (2019), Guchhait *et al.* (2020), Sarkar & Giri (2020), Tiwari *et al.* (2020). Adapun formulasi peningkatan kualitas dan investasi modal yaitu sebagai berikut:

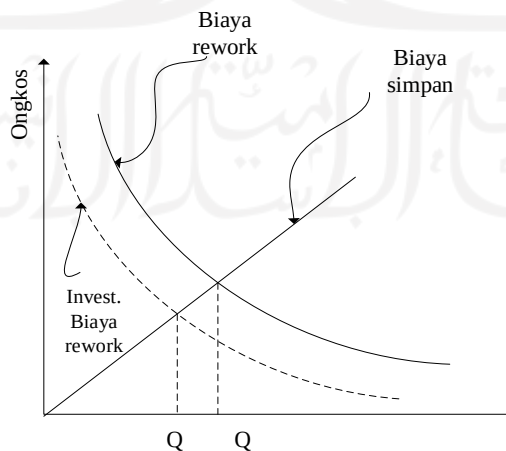
$$\text{Total biaya Investasi perbaikan kualitas} = tn \ln \left(\frac{\theta_0}{\theta} \right) \quad \dots (2.5)$$

untuk $0 \leq \theta \leq \theta_0$.

Dimana:

- n = peningkatan kualitas
- θ_0 = probabilitas out-off-control awal
- θ = probabilitas status out-off-control setelah dilakukan peningkatan kualitas
- t = modal (bunga) dalam peningkatan kualitas

Efek dari investasi peningkatan kualitas seperti yang digambarkan oleh Porteus (1986) pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pengaruh Fungsi Logaritma pada Peningkatan Kualitas

2.6 *Lead time Manufaktur*

Lead-time bisa diartikan berbeda penafsiran tergantung pada berbagai item dan / atau kegiatan tersebut (Tersine, 1994). Ini mungkin berlaku untuk item tertentu atau operasi, secara individual atau kolektif. Total waktu untuk pengadaan semua bahan baku dan komponen yang dibeli, proses produksi, pengujian, dan paket produk jadi adalah waktu siklus produksi. Total manufaktur yang diperlukan untuk melakukan semua operasi di pabrik (dari awal sampai penyelesaian akhir) adalah sering juga disebut waktu siklus manufaktur atau *lead-time* manufaktur. Masing-masing adalah jumlah dari batas waktu banyak individu.

Waktu siklus manufaktur adalah waktu dimana dimulai dari melakukan pesanan dan hingga selesai proses pemesanan tersebut. Ini adalah waktu pekerjaan dimana waktu yang dilakukan dalam proses manufaktur. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, waktu siklus manufaktur terdiri dari lima unsur-unsur berikut (Tersine, 1994):

1. Waktu persiapan (*setup time*) yaitu waktu dimana menyiapkan material, penyetelan mesin atau merancang pusat kerja agar dapat memulai operasi.
2. Waktu proses (*processing time*) yaitu waktu yang dibutuhkan pada saat kegiatan produksi dilakukan.
3. Waktu menunggu (*waiting time*) yaitu waktu yang dihitung selama material menunggu untuk dipindahkan ke lokasi berikutnya.
4. Waktu perpindahan (*moving time*) yaitu waktu yang dihitung dalam memindahkan material.
5. Waktu antrian (*queueing time*) yaitu waktu dimana material yang menunggu untuk mengantri karena pesanan lain sedang diproses di pusat kerja.

<i>Setup Time</i>	<i>Process Time</i>	<i>Wait Time</i>	<i>Move Time</i>	<i>Queue Time</i>
-------------------	---------------------	------------------	------------------	-------------------

Gambar 2.4 Waktu Siklus Manufaktur/ *Lead-time* Manufaktur

Waktu proses merupakan bagian dari waktu siklus manufaktur. Bagian yang lebih besar dari *lead-time* (terkadang sampai 90%) biasanya berasal dari waktu antrian, dimana waktu ini mengabiskan waktu untuk menunggu karena ada pesanan yang sedang diproses. Waktu persiapan, waktu tunggu dan waktu antrian adalah semua waktu yang tidak efektif selama waktu siklus manufaktur.

Lead-time manufaktur harus diperhitungkan oleh manajemen untuk dapat dikendalikan. Pemendekan *lead-time* ini dapat meningkatkan layanan pelanggan, mengurangi biaya persediaan dan memotong biaya produksi. *Lead-time* dapat dikurangi dengan memperpendek periode tersebut waktu Ketika pesanan tidak aktif. Waktu antrian adalah salah satu periode dan juga terjadi menjadi unsur utama dari waktu siklus manufaktur. Pemendekan waktu antrian dapat memberikan daya saing yang sangat besar melalui biaya yang lebih rendah dan tanggapan cepat. Efek akhir dari mengurangi waktu antrian ditingkatkan dari omset investasi kas persediaan.

2.7 *Crashing Lead time*

Menurut Liao & Shyu (1991), bahwa *lead time* dapat dipecah menjadi n komponen yang terpisah, misal memiliki perbedaan biaya *crashing* untuk mengurangi *lead time* (*reduction lead time*) dan fungsi biaya *crashing* dijabarkan menjadi fungsi liner berpasangan. Pola *lead-time* sebelum dipercepat adalah seperti pada Gambar 2.5, sedangkan sesudah dipercepat pada Gambar 2.6. Komponen ke- i memiliki durasi maksimum b_i dan durasi minimum a_i dan biaya crashing per unit waktu c_i . komponen dari *lead-time* dipercepat dengan batasan pada persamaan:

$$\sum_{i=1}^n a_i \leq L \leq \sum_{i=1}^n b_i \quad \dots (2.6)$$

Ketika L_i merupakan panjang dari *lead time* komponen ke- i yang dipercepat menjadi durasi minimum, $i = 1, 2, \dots, n$, kemudian L_i dapat ditulis menjadi:

$$L_i = \sum_{j=1}^i a_j + \sum_{j=i+1}^n b_j = \sum_{j=1}^i a_j + \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{j=1}^i b_j$$

$$L_i = \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{j=1}^i (b_j - a_j) = L_0 - \sum_{j=1}^i (b_j - a_j)$$

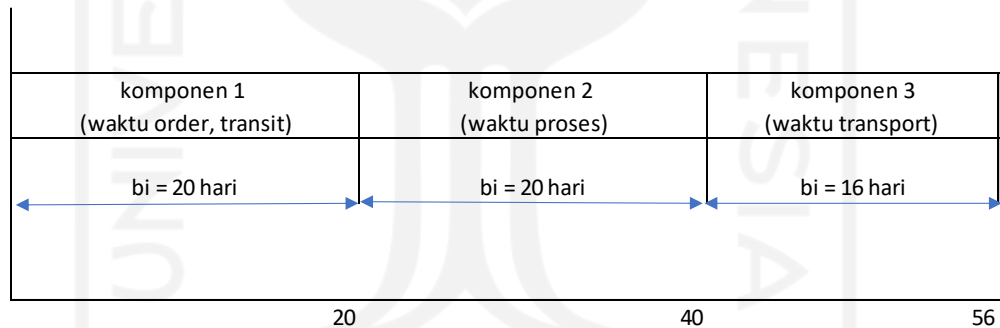
dimana

$$L_0 = \sum_{j=1}^n b_j$$

Biaya *crashing lead-time* $R(L)$ dirumuskan oleh Liao & Shyu (1991), Ouyang *et al.* (2004), sebagai berikut:

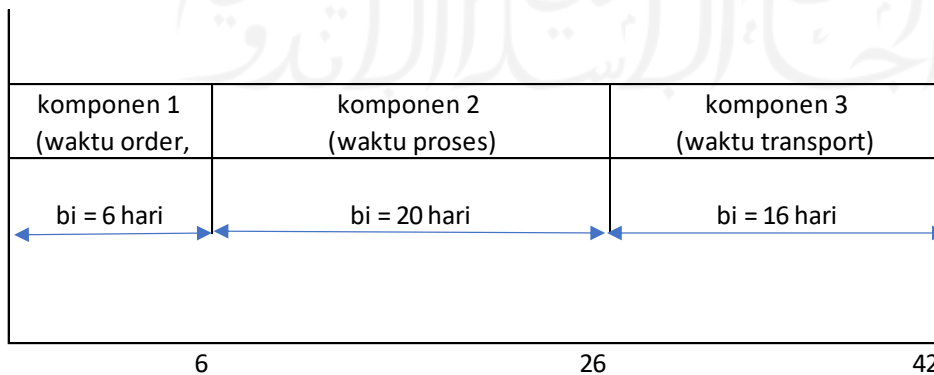
$$R(L) = c_i(L_{i-1} - L) + \sum_{j=1}^{i-1} c_j(b_j - a_j) \quad \dots (2.7)$$

Dalam memahami percepatan *crashing lead time*, berikut ilustrasinya

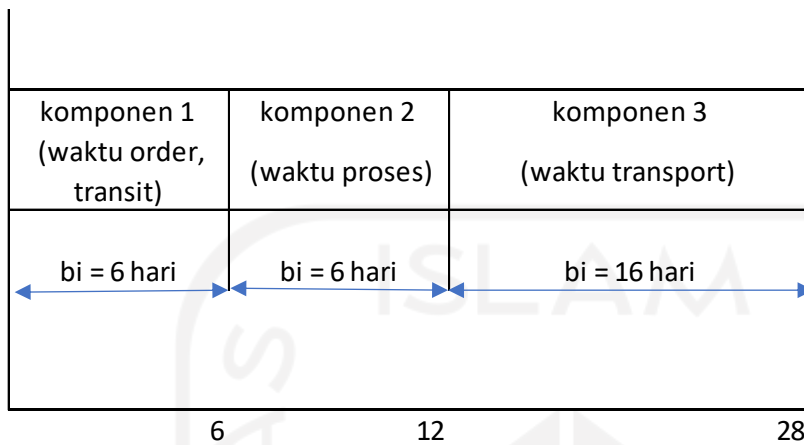


Gambar 2.5 Komponen *lead-time* kedatangan bahan baku sebelum di *crashing*

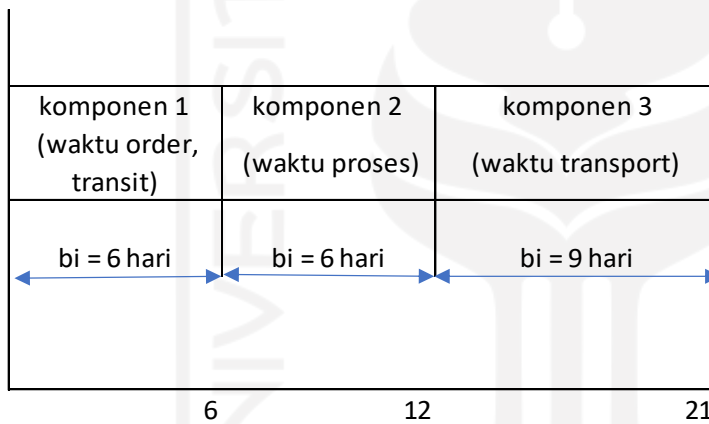
a). Komponen 1 di *crashing*



b). Komponen 1 dan 2 di *crashing*



c). Komponen 1, 2 dan 3 di *crashing*



Gambar 2.6 Komponen *lead-time* kedatangan bahan baku sesudah di *crashing*

2.8 Penyedia Jasa Logistik

Pada penelitian ini melibatkan pihak ketiga dalam kegiatan logistik yaitu perusahaan penyedia layanan logistik pihak ketiga (*Third Party Logistic*). 3PL adalah perusahaan yang dipakai sebagai tempat *outsourcing* perusahaan lain didalam melakukan fungsi-fungsi logistik. Biasanya perusahaan penyedia jasa logistik mempunyai ikatan atau asosiasi yang merupakan gabungan dari pengirim yang sifatnya *nonprofit* yang menggambarkan kepentingan dari sejumlah pengirim untuk mengumpulkan volume kargo atau muatan truk dari sejumlah anggota pengirim untuk meningkatkan tingkat tarif

kontrak layanan yang paling menguntungkan atau kontrak *less than truckload* (LTL) karena bisa jadi satu sehingga menjadi *truckload* (TL).

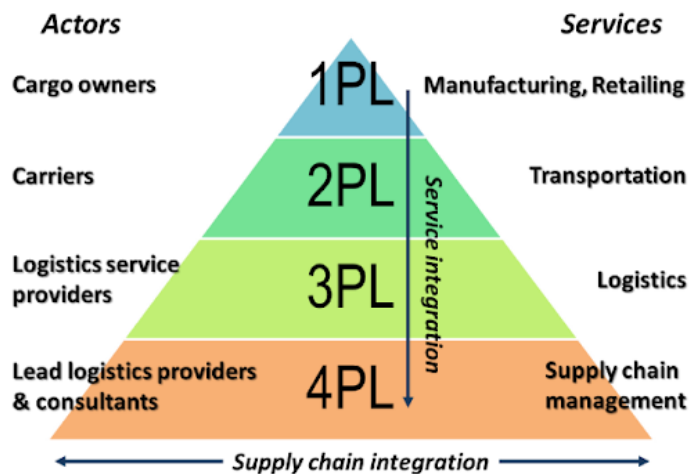
Layanan yang diberikan oleh penyedia 3PL adalah manajemen informasi, sumber daya manusia dengan mempekerjakan seorang spesialis untuk melayani fungsi tertentu dalam operasi, pengelolaan manajemen atau administrasi proses logistik. Keuntungan dalam bekerjasama dengan penyedia jasa logistik diantaranya:

1. Lebih sedikit investasi asset.
2. Fleksibilitas seiring perubahan lingkungan sehingga biaya pengoperasian lebih rendah.
3. Tingkat layanan yang lebih tinggi kepada pelanggan.

Adapun kekurangan dalam bekerjasama dengan penyedia jasa logistik diantaranya:

1. Kehilangan kendali.
2. Biaya pengoperasian mungkin lebih tinggi karena perusahaan sudah memiliki kemampuan teknologi yang canggih, biaya yang bisa dikelola sendiri oleh perusahaan digantikan dengan pengalihan pada perusahaan logistik,
3. Kepentingan mungkin tidak sama sehingga tidak saling menguntungkan, mungkin perusahaan *outsourcing* tidak menyediakan layanan yang lengkap dan kebutuhan geografis dari perusahaan.

Adapun hirarki posisi dari 3PL dalam logistik ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Hirarki Supply Chain Integration Dalam Jasa Logistik

2.9 Tinjauan Model Wangsa dan Wee (2017)

Pada tinjauan model dasar ini menggunakan model yang dikembangkan oleh Wangsa & Wee (2017). Penelitian ini mempertimbangkan biaya logistik yang diajukan oleh 3PL dari kebijakan layanan *pick-up delivery*. Biaya-biaya tersebut akan menjadi tanggungan oleh pihak pembeli. Selanjutnya, penelitian ini juga mempertimbangkan harga BBM, konsumsi BBM pada kendaraan, beban muatan kendaraan dan jarak antara pemasok, *provider* logistik dan pembeli yang dikembangkan oleh Wangsa dan Wee (2017). Model ini mempertimbangkan permintaan probabilistik, *crashing lead-time*, biaya *shortage*, dan biaya logistik. Beberapa notasi yang digunakan dalam model Wangsa & Wee (2017) sebagai berikut:

i	= komponen <i>lead time</i> , $i = 1, \dots, j$	
D	= rata-rata permintaan pembeli	(unit/tahun)
P	= tingkat produksi pemasok	(unit/ tahun)
A	= biaya pesan pembeli per sekali pesan	(Rp)
S	= biaya <i>setup</i> pemasok per sekali <i>setup</i>	(Rp)
h_b	= biaya simpan pembeli per unit per tahun	(Rp/unit/tahun)
h_v	= biaya simpan pemasoki per unit per tahun	(Rp/unit/tahun)
r	= titik pemesanan ulang pembeli	(unit)
π_0	= batas keuntungan pembeli	(Rp/unit)
β	= rasio <i>backorder</i> , $0 \leq \beta \leq 1$	
β_0	= batas atas dari rasio <i>backorder</i> $0 \leq \beta_0 \leq 1$	
σ	= standar deviasi permintaan pembeli	(unit/minggu)
c_i	= durasi minimum dari <i>lead-time</i>	(hari)
d_i	= durasi normal dari <i>lead-time</i>	(hari)
e_i	= biaya percepatan <i>lead-time</i>	(Rp/hari)
$B(r)$	= ekspektasi permintaan pembeli	(unit)
$\phi(k)$	= fungsi kepekatan probabilitas (<i>p.d.f.</i>) berdistribusi normal	
$\Phi(k)$	= fungsi distribusi komulatif (<i>c.d.f.</i>) berdistribusi normal	
w	= berat dari suatu barang	(kg/unit)
d_b	= jarak antara penyedia jasa logistik ke pembeli	(km)
d_v	= jarak antara pemasok ke penyedia jasa logistik	(km)
α	= factor diskon untuk pengiriman LTL, $0 \leq \alpha \leq 1$	
F_x	= biaya logistik untuk FTL	(Rp/kg/km)
F_y	= biaya logistik aktual	(Rp/kg/km)
W_x	= berat pengiriman FTL	(kg)

W_y	= berat pengiriman aktual	(kg)
δ	= harga bahan bakar	(Rp/liter)
γ	= konsumsi bahan bakar dari sebuah truk disel	(liter/km)
Δ	= faktor subsidi bahan bakar dari pemerintah, $0 \leq \Delta < 1$	
u	= biaya tambahan per pengiriman untuk kebijakan <i>pickup</i>	(Rp)
TEC_b	= total biaya ekspektasi dari pembeli	(Rp/tahun)
TEC_v	= total biaya ekspektasi dari pemasok	(Rp/tahun)
$JTEC$	= total biaya ekspektasi gabungan	(Rp/tahun)

Berikut adalah beberapa variabel keputusan dari model Wangsa & Wee (2017).

Q	= ukuran lot pemesanan	(unit)
m	= jumlah pengiriman dalam sekali produksi	(kali)
L	= panjang <i>lead-time</i>	(hari)
k	= faktor pengaman persediaan dari pembeli	(kali)

Beberapa asumsi dari model di atas adalah sebagai berikut:

1. Model ini mengasumsikan sebuah produk tunggal dengan sistem persediaan pemasok tunggal dan pembeli tunggal yang melibatkan penyedia jasa logistik tunggal sebagai pihak ketiga.
2. Pembeli memesan ukuran lot Q dengan biaya pesan A kemudian pemasok memproduksi ukuran *lot* sebesar mQ dengan tingkat produksi yang terbatas sebesar P dalam satu kali *setup* (S), $P > D$. Selanjutnya pemasok mengirimkan ukuran *lot* Q kepada pembeli sebanyak m kali.
3. Permintaan selama *lead-time* mengikuti distribusi normal dengan rata-rata DL dan standar deviasinya $\sigma\sqrt{L}$.
4. Persediaan (*inventory*) akan ditinjau secara berkelanjutan (*continuous review*). *Reorder point* dirumuskan yaitu $r = DL + k\sigma\sqrt{L}$, dimana DL adalah ekspektasi permintaan selama *lead-time* dan $k\sigma\sqrt{L}$ adalah *stock* pengaman dan k adalah faktor pengaman.
5. *Lead-time*, L terdiri dari j komponen yang saling *independent*. Komponen ke- i memiliki durasi normal d_i , durasi minimum c_i dan biaya percepatan perhari e_i . Diasumsikan biaya percepatan tiap komponen diatur yaitu $e_1 < e_2 < \dots < e_j$.

6. L_0 adalah total panjang *lead-time* seluruh komponen dan L_i adalah panjang *lead-time* tiap komponen yang dipercepat dengan durasi minimumnya. Biaya percepatan *lead-time* yang terjadi pada pemasok akan ditanggung sepenuhnya oleh pembeli karena percepatan *lead-time* merupakan permintaan dari pembeli.
7. Perusahaan penyedia jasa pengiriman sebagai pihak ketiga yang menawarkan layanan antar-jemput (*pick-up service*), kemudian pihak ketiga mengambil produk jadi dan mengirimkan dari pemasok ke pembeli. Sebagai konsekuensinya pihak ketiga menagihkan biaya jasa antar-jemput tersebut dengan biaya tambahan sebesar u (Rp) yang sepenuhnya dibayar oleh pembeli. Biaya tambahan ini meliputi biaya *material handling*, biaya tenaga kerja, biaya pemesanan *pick-up*, dan lain-lain. Model ini pertama kali dikembangkan oleh (Wangsa & Wee, 2017).
8. Harga BBM dipengaruhi dengan kebijakan pemerintah melalui subsidi. Harga BBM dirumuskan $\delta(1 - \Delta)$, dengan $0 \leq \Delta < 1$ dan Δ adalah faktor subsidi yang ditentukan pemerintah.
9. Jarak antara semua pihak diasumsikan linear.
10. Seluruh biaya logistik menjadi tanggung jawab pembeli dengan menerapkan sistem *Free-On-Board* (FOB).
11. Penelitian ini mengijinkan adanya *shortage* atau kekurangan persediaan dengan dibagi menjadi *backorder* dan *lost sales*.

Formulasi model matematika dibagi menjadi 3 bagian, yaitu: total biaya ekspektasi pembeli (TEC_b), total biaya ekspektasi pemasok (TEC_v) dan total biaya ekspektasi gabungan ($JTEC$). Berikut adalah total biaya ekspektasi pembeli (TEC_b) oleh Wangsa & Wee (2017):

2.9.1 Total Biaya Ekspektasi Pembeli (TEC_b)

Total biaya ekspektasi pembeli terdiri dari: biaya pesan, biaya simpan, biaya kekurangan, biaya percepatan *lead-time*, biaya logistik dan biaya *surcharge*. Oleh karena itu formulasi total biaya ekspektasi pembeli yang dikembangkan oleh Wangsa & Wee (2017) adalah terdiri dari:

1. Biaya Pesan (*Ordering Cost*)

Biaya pesan per tahun merupakan perkalian antara frekuensi jumlah pemesanan dalam satu tahun (D/Q) dengan biaya pesan yang dikeluarkan tiap kali pemesanan (A). Total biaya pesan per tahun:

$$OC = \frac{AD}{Q} \quad \dots (2.8)$$

2. Biaya Simpan (*Holding Cost*)

Biaya simpan per tahun adalah perkalian antara penjumlahan rata-rata persediaan selama satu tahun ($Q/2$), persediaan pengaman /*safety stock* ($r - DL$) dan ekspektasi kuantitas *shortage* $(1 - \beta)B(r)$ yang kemudian dikalikan biaya simpan pembeli per unit per tahun (h_b). Berikut adalah total biaya simpan pembeli per tahun:

$$HC_b = h_b \left[\frac{Q}{2} + (r - DL) + (1 - \beta)B(r) \right]$$

Dimana $(r - DL) = k\sigma\sqrt{L}$, $B(r) = \sigma\sqrt{L}\Psi(k)$ dan $\Psi(k) = \varphi(k) - k[1 - \Phi(k)]$.

Sehingga formulasi diatas dapat dituliskan kembali menjadi

$$HC_b = h_b \left[\frac{Q}{2} + k\sigma\sqrt{L} + (1 - \beta)\sigma\sqrt{L}\Psi(k) \right] \quad \dots (2.9)$$

3. Biaya Kekurangan (*Shortage Cost*)

Biaya kekurangan per tahun dibagi menjadi dua bagian yaitu ekspektasi biaya *backorder* dan ekspektasi biaya *lost sales* (kehilangan penjualan). Jika ekspektasi kuantitas *backorder* adalah $\beta B(r)$ dan ekspektasi kuantitas *lost sales* adalah $(1 - \beta)B(r)$ kemudian π_x adalah biaya *backorder* per unit dan π_0 adalah biaya *lost sales*, maka total biaya kekurangan per tahun dapat diformulasikan dengan perkalian antara ekspektasi biaya kekurangan pada setiap siklus $[\pi_x\beta + \pi_0(1 - \beta)]B(r)$ dikali dengan siklus dalam satu tahun (D/Q). Berikut adalah total ekspektasi biaya kekurangan per tahun:

$$SC_b = \frac{D}{Q} [\pi_x\beta + \pi_0(1 - \beta)]B(r)$$

Dimana $B(r) = \sigma\sqrt{L}\Psi(k)$

Sehingga formulasi diatas dapat dituliskan kembali menjadi

$$SC_b = \frac{D}{Q} [\pi_x \beta + \pi_0 (1 - \beta)] \sigma\sqrt{L}\Psi(k) \quad \dots (2.10)$$

4. Biaya Percepatan *Lead Time* (*Crashing Lead Time Cost*)

Liao & Shyu (1991) menyatakan bahwa *lead-time* dapat dipecah menjadi i komponen yang terpisah, sebagai contoh komponen *lead-time* terdiri dari waktu pemesanan, waktu proses pemesanan dan waktu pengiriman. Komponen *lead-time* ke- i memiliki durasi minimum c_i , durasi normal d_i dan biaya percepatan *lead-time* per hari e_i . Biaya percepatan *lead-time* per siklus $R(L)$ dirumuskan sebagai berikut:

$$R(L) = e_i(L_{i-1} - L) \sum_{j=1}^{i-1} e_j (d_j - c_j) \quad L \in [L_i, L_{i-1}]$$

Apabila frekuensi jumlah percepatan *lead-time* per tahun (D/Q) dan biaya percepatan *lead-time* per siklus $R(L)$ maka total biaya percepatan *lead-time* adalah

$$CC = \frac{D}{Q} \left[e_i(L_{i-1} - L) \sum_{j=1}^{i-1} e_j (d_j - c_j) \right] \quad \dots (2.11)$$

5. Biaya Logistik (*Logistics Cost*)

Pada biaya logistik penelitian ini mempertimbangkan penyedia jasa logistik pihak ketiga yang menyediakan jasa pengiriman produk jadi dari pemasok kepada pembeli. Formulasi biaya logistik penelitian ini menggunakan formulasi yang dikembangkan oleh Wangsa & Wee (2017). Pada Gambar 16 menunjukkan sistem rantai pasok logistik yang diamati dengan penyedia jasa logistik, pemasok tunggal dan pembeli tunggal.

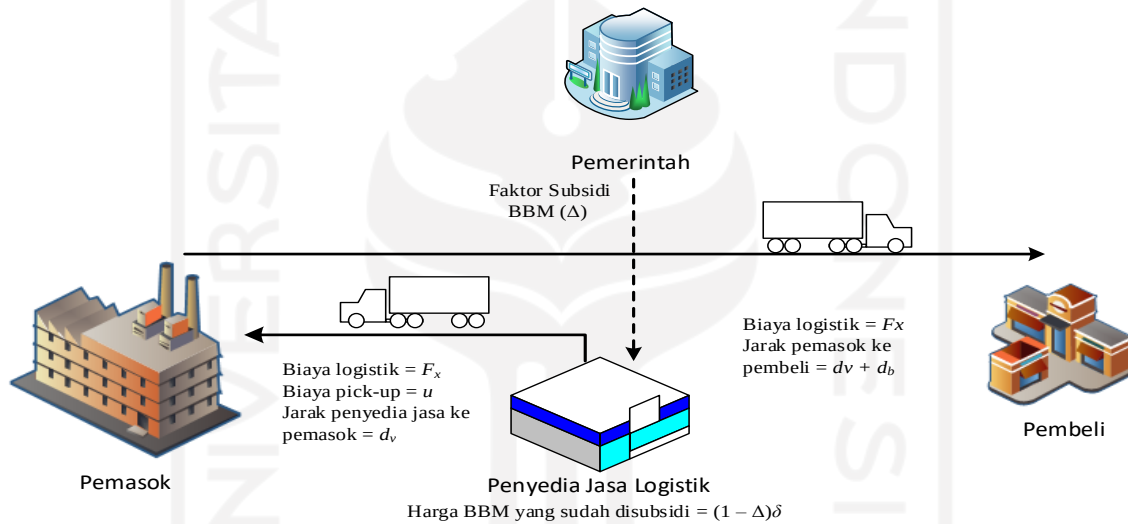
Jika *rate* biaya logistik adalah F_x , kapasitas berat pengiriman (W_x), δ adalah harga bahan bakar (BBM), konsumsi bahan bakar *truck* (γ), Δ adalah faktor subsidi BBM oleh pemerintah, w adalah berat dari suatu barang dan α adalah faktor diskon pengiriman LTL (*less-than-truckload*). Pada formulasi biaya logistik di dalam model ini diasumsikan bahwa jarak antara pemasok, penyedia jasa logistik dan pembeli adalah linear. Sehingga

jarak ketiganya dapat dimodelkan sebagai berikut $d_v + (d_v + d_b) = (2d_v + d_b)$. Sehingga total biaya logistik adalah:

$$LC = \frac{D}{Q} [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta)\gamma](2d_v + d_b) + D(1 - \alpha)F_x w(2d_v + d_b) \quad \dots (2.12)$$

Dengan batasan: $0 \leq \Delta < 1$

Adapun sistem rantai pasok antara pemasok, pembeli, penyedia jasa serta peran pemerintah yang terlibat secara tidak langsung dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Sistem Rantai Pasok dengan Jasa Logistik (Wangsa dan Wee, 2017)

6. Biaya Tambahan Jasa Antar-Jemput (*Surcharge Cost*)

Biaya jasa antar-jemput (*pick-up*) per tahun adalah perkalian antara ekspektasi frekuensi jumlah pengiriman dalam satu tahun (D/Q) dikalikan dengan biaya jasa tambahan / *surcharge* (u). Biaya jasa tambahan meliputi biaya *material handling* (*forklift*), biaya tenaga kerja, biaya pemesanan jasa *pick-up* dan lain-lain. Maka total biaya tambahan untuk jasa antar-jemput (*pick-up*) per tahun adalah:

$$PC = \frac{Du}{Q} \quad \dots (2.13)$$

7. Total Ekspektasi Biaya Pembeli

Sehingga total ekspektasi pada pembeli (TEC_b) merupakan penjumlahan dari Persamaan (2.8-2.13), yaitu:

$$\begin{aligned}
 & TEC_b(Q, k, L) \quad \dots (2.14) \\
 & = \frac{D}{Q} \{A + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)]\sigma\sqrt{L}\Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta)\gamma](2d_v + d_b)\} \\
 & + h_b \left[\frac{Q}{2} + k\sigma\sqrt{L} + (1 - \beta)\sigma\sqrt{L}\Psi(k) \right] + D(1 - \alpha)F_x w(2d_v + d_b)
 \end{aligned}$$

2.9.2 Total Biaya Ekspektasi Pemasok (TEC_v)

Total biaya ekspektasi pemasok terdiri dari: biaya *setup* dan biaya simpan. Berikut adalah formulasi total biaya ekspektasi pemasok yang dikembangkan oleh Wangsa & Wee (2017):

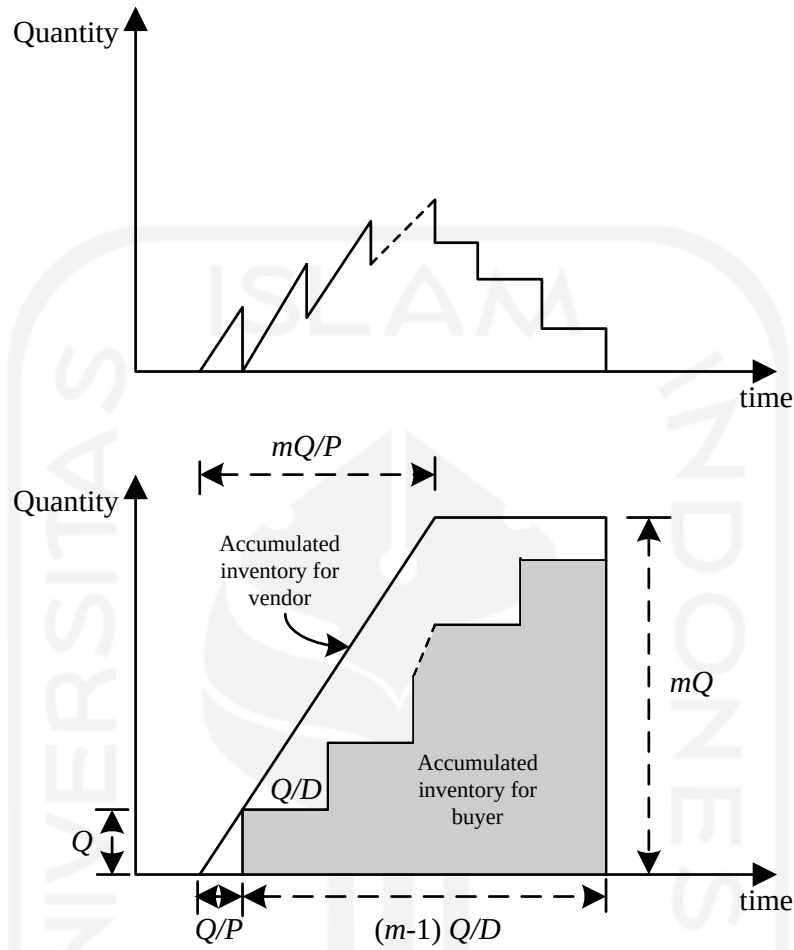
1. Biaya *Setup* (*Setup Cost*)

Biaya *setup* per tahun merupakan perkalian antara ekspektasi frekuensi jumlah *setup* dalam satu tahun (D/mQ) dikalikan biaya *setup* yang harus dikeluarkan setiap kali produksi (S). Total Ekspektasi biaya *setup* per tahun adalah

$$SC_v = \frac{SD}{mQ} \quad \dots (2.15)$$

2. Biaya Simpan (*Holding Cost*)

Biaya simpan per tahun adalah perkalian antara rata-rata persediaan pemasok (I_v) dengan biaya simpan pemasok per unit per tahun (h_v). Pada Gambar 2.9 menunjukkan rata-rata persediaan pemasok dapat ditentukan sebagai berikut:



Gambar 2.9 Pola Persediaan Akumulasi Pemasok dan Pembeli

$$\begin{aligned}
 I_v &= \frac{\left\{ mQ \left[\frac{Q}{P} + (m-1) \frac{Q}{D} \right] - \frac{m^2 Q^2}{2P} \right\} - \left[\frac{Q^2}{D} + \frac{2Q^2}{D} + \dots + (m-1) \frac{Q^2}{D} \right]}{\frac{mQ}{D}} \\
 &= \frac{D}{mQ} \left\{ \left[mQ \left[\frac{Q}{P} + (m-1) \frac{Q}{D} \right] - \frac{m^2 Q^2}{2P} \right] - \left[\frac{Q^2}{D} + \frac{2Q^2}{D} + \dots + (m-1) \frac{Q^2}{D} \right] \right\} \\
 &= \frac{D}{mQ} \left\{ \left[mQ \left[\frac{Q}{P} + (m-1) \frac{Q}{D} \right] - \frac{m^2 Q^2}{2P} \right] - \left[\frac{Q^2 m(m-1)}{2} \right] \right\} \\
 &= \frac{D}{mQ} \left\{ \left[mQ \left[\frac{Q}{P} + (m-1) \frac{Q}{D} \right] - \frac{m^2 Q^2}{2P} \right] - \left[\frac{Q^2 m(m-1)}{2} \right] \right\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left[D \left[\frac{Q}{P} + (m-1) \frac{Q}{D} \right] - \frac{mQD}{2P} \right] - \left[\frac{Q(m-1)}{2} \right] \\
&= \frac{DQ}{P} + (m-1)Q - \frac{mQD}{2P} - \frac{Q(m-1)}{2} \\
&= \frac{DQ}{P} + Qm - Q - \frac{mQD}{2P} - \frac{Q(m-1)}{2} \\
&= \frac{Q}{2} \left[-\frac{mD}{P} - (m-1) + \frac{2D}{P} + 2m - 2 \right] \\
&= \frac{Q}{2} \left[-\frac{mD}{P} - m + 1 + \frac{2D}{P} + 2m - 2 \right] \\
&= \frac{Q}{2} \left[m - \frac{mD}{P} - 1 + \frac{2D}{P} \right] \\
&= \frac{Q}{2} \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right]
\end{aligned}$$

Sehingga berikut adalah total biaya simpan pemasok per tahun:

$$HC_v = h_v \frac{Q}{2} \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \quad \dots (2.16)$$

3. Total Ekspektasi Biaya Pemasok

Sehingga total ekspektasi pada pembeli (TEC_v) merupakan penjumlahan dari Persamaan (2.15) dan Persamaan (2.16), yaitu:

$$TEC_v(Q, m) = \frac{SD}{Qm} + h_v \frac{Q}{2} \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \quad \dots (2.17)$$

2.9.3 Total Biaya Ekspektasi Gabungan (JTEC)

Total biaya ekspektasi gabungan pada sistem rantai pasok adalah penjumlahan total biaya ekspektasi pembeli pada Persamaan (2.14) dengan total biaya ekspektasi pemasok pada Persamaan (2.17). Sehingga total biaya ekspektasi gabungan pada model dasar yang diusulkan oleh Wangsa & Wee (2017) adalah:

$$JTEC_0(Q, k, L, m) = TEC_b(Q, k, L) + TEC_v(Q, m)$$

$$\begin{aligned}
& JTEC_0(Q, k, L, m) \quad \dots (2.18) \\
& = \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\
& + \frac{Q}{2} \left\{ h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} + h_b [k \sigma \sqrt{L} + (1 - \beta) \sigma \sqrt{L} \Psi(k)] \\
& + D(1 - \alpha) F_x w (2d_v + d_b)
\end{aligned}$$

2.9.4 Optimalisasi

Untuk melakukan optimalisasi, penelitian Wangsa dan Wee (2017) menggunakan diferensial (turunan) pada kedua formulasi model matematik yang telah dibangun sebelumnya. Variabel keputusan pada model pertama adalah (Q, k, L, m) dimana $(Q > 0, k > 0, L > 0, m > 0)$ yang meminimasi $JTEC_0(Q, k, L, m)$. Berikut adalah langkah-langkah dalam melakukan optimalisasi.

1. Ukuran Lot Pemesanan Optimal (Q^*)

Jika (k, L, m) konstan, maka $JTEC_0(Q, k, L, m)$ akan mencapai nilai minimum pada Q yang memenuhi syarat perlu:

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial JTEC_0(Q, k, L, m)}{\partial Q} = 0 \\
& - \frac{D}{Q^2} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\
& + \frac{1}{2} \left\{ h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} = 0 \\
& \frac{D}{Q^2} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\
& = \frac{1}{2} \left\{ h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\}
\end{aligned}$$

Dan diperoleh

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\}}{h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right]}} \quad \dots (2.19)$$

Sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_0(Q)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\frac{\partial^2 JTEC_0(Q, k, L, m)}{\partial Q^2} > 0$$

$$\frac{2D}{Q^3} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} > 0 \quad \dots (2.20)$$

2. Faktor Pengaman Persediaan Optimal (k^*)

Jika (Q, L, m) konstan, maka $JTEC_0(Q, k, L, m)$ akan mencapai nilai minimum pada k yang memenuhi syarat perlu:

$$\frac{\partial JTEC_0(Q, k, L, m)}{\partial k} = 0$$

$$\frac{D}{Q} [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} [\Phi(k) - 1] + h_b [\sigma \sqrt{L} + (1 - \beta) \sigma \sqrt{L} [\Phi(k) - 1]] = 0$$

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{Q h_b}{D [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] + Q h_b (1 - \beta)} \quad \dots (2.21)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_0(k)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\frac{\partial^2 JTEC_0(Q, k, L, m)}{\partial k^2} > 0$$

$$\frac{D}{Q} [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \varphi(k) + h_b (1 - \beta) \sigma \sqrt{L} \varphi(k) > 0 \quad \dots (2.22)$$

3. Panjang Lead-time Optimal (L^*)

Jika (Q, k, m) konstan, maka $JTEC_0(Q, k, L, m)$ akan mencapai nilai minimum pada L yang memenuhi syarat perlu:

$$\begin{aligned} \frac{\partial JTEC_0(Q, k, L, m)}{\partial L} &= 0 \\ \frac{D}{Q} \left\{ -ci + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \frac{\sigma}{2\sqrt{L}} \Psi(k) \right\} + h_b \left[k \frac{\sigma}{2\sqrt{L}} + (1 - \beta) \frac{\sigma}{2\sqrt{L}} \Psi(k) \right] &= 0 \\ L^* &= \left(\frac{\sigma Q}{2Dci} \left\{ \frac{D\Psi(k)}{Q} [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] + h_b [k + (1 - \beta)\Psi(k)] \right\} \right)^2 \quad \dots (2.23) \end{aligned}$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_0(L)$ merupakan fungsi konkaf (cekung) adalah:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 JTEC_0(Q, k, L, m)}{\partial L^2} &< 0 \\ -\frac{\sigma}{4L\sqrt{L}} \left\{ \frac{D}{Q} [\pi_0(1 - \beta)] \Psi(k) + h_b k + (1 - \beta) \Psi(k) \right\} &< 0 \quad \dots (2.24) \end{aligned}$$

4. Jumlah Pengiriman Optimal (m^*)

Jika (Q, k, L) konstan, maka $JTEC_0(Q, k, L, m)$ akan mencapai nilai minimum pada m yang memenuhi syarat perlu:

$$\begin{aligned} \frac{\partial JTEC_0(Q, k, L, m)}{\partial m} &= 0 \\ \frac{-SD}{m^2 Q} + \frac{Q}{2} \left[h_v \left(1 - \frac{D}{P} \right) \right] &= 0 \end{aligned}$$

Dan diperoleh

$$m^* = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{2SD}{h_v \left(1 - \frac{D}{P} \right)}} \quad \dots (2.25)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_0(m)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\frac{\partial^2 JTEC_0(Q, k, L, m)}{\partial m^2} > 0$$

$$\frac{2SD}{m^3Q} > 0 \quad \dots (2.26)$$

2.9.5 Algoritma Solusi

Berikut adalah algoritma solusi dari Wangsa dan Wee (2017):

Langkah pertama : Tentukan $m = 1$.

Langkah kedua : Untuk tiap L_i , untuk $i = 0, 1, \dots, j$, ikuti langkah berikut ini.

- Mulai dari $k_{i0} = 0$ (dimana $\Psi(k_{i0}) = 0,3989$, $\phi(k_{i0}) = 0,3989$ dan $\Phi(k_{i0}) = 0,5$).
- Substitusi $\Psi(k_{i0})$ kemudian hitung Q_{i0} pada Pers. (2.20).
- Cek beban muatan aktual ($W_y = Qw$) dengan kapasitas truk, jika ($W_y > W_x$) maka revisi lot pemesanan, ($Q_{i0} = \frac{W_x}{w}$), sedangkan sebaliknya langsung ke langkah selanjutnya.
- Gunakan Q_{i0} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{i1})$ pada Pers. (2.22).
- Tentukan k_{i1} dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.
- Ulangi langkah kedua point (b) sampai point (e), hingga nilai Q_i dan k_i tidak mengalami perubahan.
- Hitung $JTEC_0$ pada Pers. (2.19).

Langkah ketiga : Tentukan nilai $\min_{i=0,1,\dots,j}$ dari $JTEC_0(Q^*, k^*, L, m)$. Kemudian apabila $JTEC_0(Q^*_{(m)}, k^*_{(m)}, L_{(m)}, m) = \min_{i=0,1,\dots,j}$ dari $JTEC_0(Q^*, k^*, L, m)$ maka $(Q^*_{(m)}, k^*_{(m)}, L_{(m)})$ adalah solusi optimal untuk m yang tetap.

Langkah keempat : Lanjutkan $m = m + 1$ dan ulangi langkah kedua dan ketiga.

Langkah kelima : Lakukan perbandingan $JTEC_0$ dengan cara yaitu

$$JTEC_0(Q^*_{(m)}, k^*_{(m)}, L_{(m)}, m) \leq$$

$JTEC_0(Q^*_{(m-1)}, k^*_{(m-1)}, L_{(m-1)}, m-1)$ maka ke langkah empat.

Jika sebaliknya, maka lanjutnya ke langkah keenam.

Langkah keenam : Kemudian diperoleh solusi optimal $(Q^*_{(m-1)}, k^*_{(m-1)}, L_{(m-1)}, m-1)$.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN MODEL

Pada Bab ini menjelaskan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian. Adapun tahapan penelitian diantaranya pada *subbab* 3.1 menjelaskan obyek dan subyek penelitian, langkah penelitian (*subbab* 3.2) yang disajikan dalam bentuk diagram alir penelitian. Selanjutnya penjelasan kerangka pikir penelitian (*subbab* 3.3) dan karakteristik sistem (*subbab* 3.4) yang menjelaskan bagian yang saling berkaitan untuk mencapai tujuan. Langkah terakhir adalah menjelaskan tahapan pengembangan model matematika, verifikasi model dan pengembangan algoritma solusi dari penelitian sebelumnya dalam konteks JELS pemasok tunggal dan pembeli tunggal (*subbab* 3.5).

3.1 Obyek dan Subyek Penelitian

3.1.1 Obyek Penelitian

Penelitian ini dilakukan ini di El-Rahma Batik, Jl. Urip Sumoharjo no.197, Pekalongan yang merupakan produsen dan pembeli tunggal yaitu Titin Batik, Jl. Kenanga 7, Klego, Pekalongan. Dalam penelitian ini akan mengembangkan model yang mengintegrasikan pembeli tunggal dan pemasok tunggal untuk multi produk, yaitu 3 macam produk, misalnya sarimbit batik, blues pria batik dan blues wanita batik yang permintaannya bersifat probabilistik. Data penelitian ini diperoleh menggunakan data sekunder (penelitian sebelumnya) yaitu Wijanarko (2011) dan Estrelita (2013).

3.1.2 Subyek Penelitian

Penelitian ini dikhususkan pada sistem persediaan dan sistem produksi pada perusahaan El-Rahma Batik dan Titin Batik. Penelitian ini mencari solusi optimal dari ukuran *lot* pemesanan Q , jumlah pengiriman m , faktor pengaman k , panjang *lead time* L , probabilitas *out-of-control* θ , *backorder discount* π_x , penurunan biaya pesan A dan biaya *setup* S .

3.2 Langkah Penelitian

Adapun langkah penelitian yang dilakukan terdiri dari lima (5) tahapan, yaitu:

3.2.1 Tinjauan Literatur

Pada tahapan ini dilakukan telaah mengenai latar belakang penelitian berkaitan dengan topik penelitian. Langkah ini ditempuh melalui menelaah terhadap jurnal-jurnal, buku teks, hasil seminar nasional dan internasional maupun hasil tesis yang relevan dengan topik penelitian. Tinjauan literatur bertujuan untuk menggali informasi tentang perkembangan penelitian. Adapun kata kunci dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Model persediaan gabungan sistem rantai pasok,
2. Permintaan probabilistik,
3. Adanya kekurangan persediaan (*shortage*) dan optimalisasinya
4. Mempertimbangkan proses produksi tidak sempurna dan investasi perbaikannya,
5. Adanya biaya percepatan *lead time* (*crashing lead time*),
6. Adanya biaya logistik, dan
7. Penurunan biaya *setup* dan biaya pesan.

3.2.2 Perumusan Masalah

Dari tinjauan pustaka dan permasalahan dari obyek penelitian telah ditemukan celah permasalahan yang akan dipecahkan pada penelitian ini. Selanjutnya berdasarkan celah penelitian tersebut dapat dirumuskan masalah yang menjadi topik penelitian. Penelitian yang dikemukakan dalam hubungan antara pemasok dan pembeli dengan melibatkan penyedia jasa pengiriman tunggal untuk penentuan ukuran lot gabungan Q , jumlah pengiriman m , faktor pengaman k , panjang *lead time* L , probabilitas *out-of-control* θ , *backorder discount* π_x , serta penurunan biaya pesan A dan biaya *setup* S .

3.2.3 Pengembangan dan Verifikasi Model

Dalam tahapan ini akan dibangun model matematika yang menjadi fokus penelitian dan juga *state of art* (SOTA). Langkah awal dari tahapan ini adalah menjelaskan karakteristik sistem yang relevan yang diperoleh dari langkah identifikasi sistem kemudian mendesain

model berdasarkan parameter-parameter yang telah disepakati. Dari identifikasi sistem tersebut juga dianalisis asumsi-asumsi yang digunakan dalam pemodelan *JELS*. Dalam pengembangan model ini mengikuti karakteristik sistem nyata yang akan diteliti. Model-model yang dikembangkan adalah sebagai berikut:

- Model I : Proses produksi tidak sempurna dan perbaikan kualitas,
- Model II : Proses produksi tidak sempurna, perbaikan kualitas dan *backorder price discount*, dan
- Model III : Proses produksi tidak sempurna, perbaikan kualitas, *backorder price discount*, penurunan biaya pesan dan *setup*.

Kemudian, model-model yang telah dikembangkan, selanjutnya akan dilakukan pengujian verifikasi model. Verifikasi model dilakukan agar model yang telah dibangun telah sesuai dari keinginan yang akan ditentukan baik itu variabel keputusan maupun kriteria performansi. Setelah dilakukan pembangunan model-model tersebut, maka langkah selanjutnya adalah dilakukan pengembangan pencarian solusi dengan algoritma.

3.2.4 Implementasi Model

1. Pengumpulan Data

Jenis dan sumber data yang diperoleh pada penelitian ini adalah berupa data sekunder. Data sekunder adalah data yang didapatkan secara tidak langsung melalui studi pustaka, literatur-literatur, majalah, katalog, dan sumber lainnya. Dalam penelitian ini data-data yang diperlukan terdiri dari data pamanufaktur, pembeli dan penyedia jasa logistik. Untuk data yang berasal dari El-Rahma Batik sebagai Pamanufaktur, yaitu:

1. Data produksi,
2. Biaya produksi,
3. Biaya *setup*,
4. Biaya simpan pamanufaktur,
5. Tingkat kerusakan produksi barang,
6. Biaya perbaikan produksi barang.

Sedangkan kebutuhan data Titin Batik sebagai Pembeli terdiri dari:

1. Data permintaan,
2. Data *lead time*,
3. Biaya pesan,
4. Biaya simpan pembeli
5. Biaya *backorder* dan *lost sales*

Sedangkan data-data dari penyedia jasa transportasi terdiri dari:

1. Biaya pengiriman barang (logistik),
2. Berat barang,
3. Harga bahan bakar,
4. Jarak antara penyedia jasa, El-Rahma Batik dan Titin Batik.

2. Pengolahan Data

Kemudian setelah diperoleh data tiap-tiap perusahaan maka dilakukan pengimplementasian perhitungan model berdasarkan data riil, model 0 modifikasi, model I, model II, dan model III dari model yang telah dibangun pada tahapan sebelumnya.

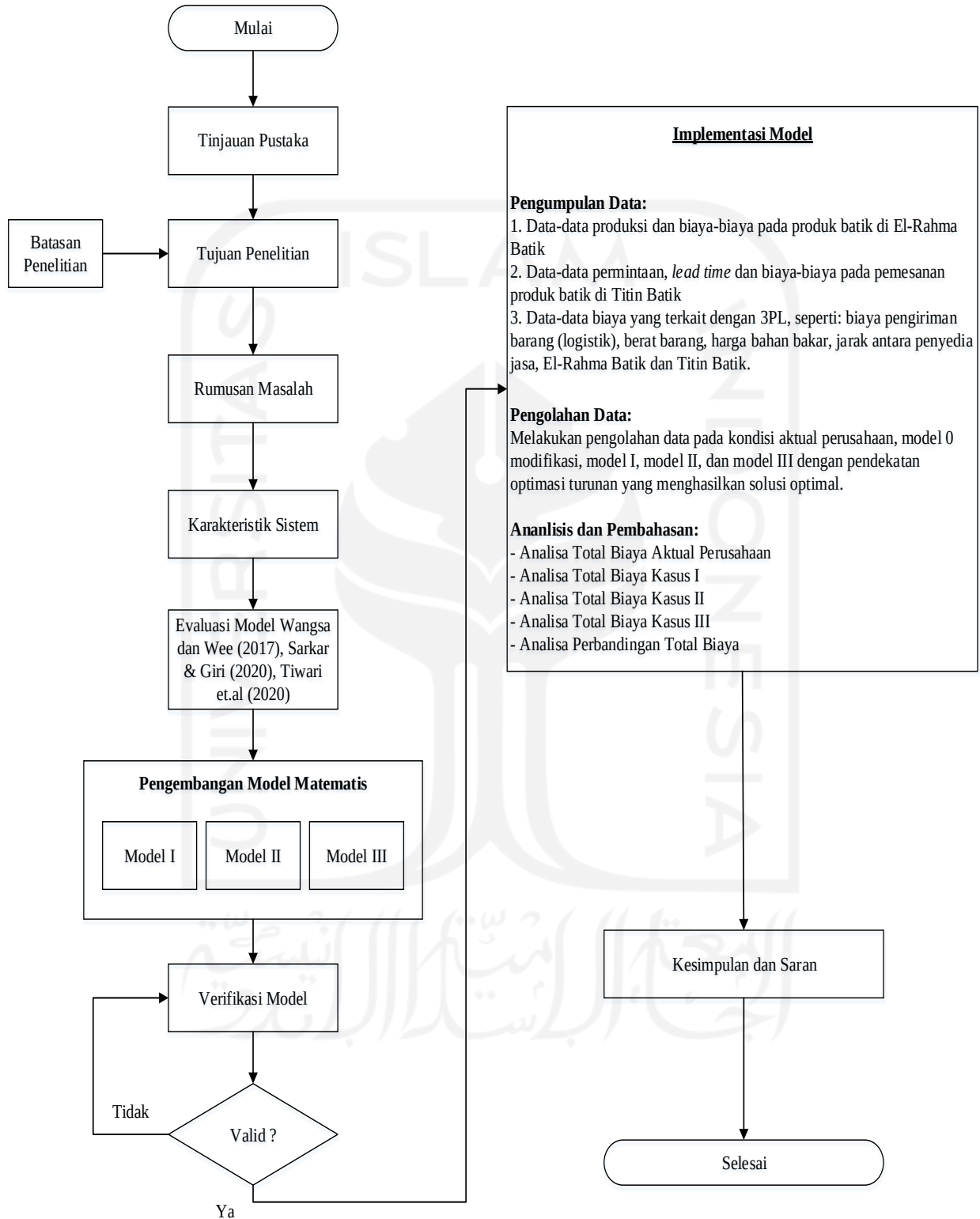
3. Analisa dan Pembahasan

Setelah dilakukan perhitungan model berdasarkan data riil, maka selanjutnya dilakukan analisa dan pembahasan. Analisa dilakukan dengan menggunakan analisa sensitivitas dengan menguji perubahan tiap parameter terhadap variabel keputusan dan kriteria performansi.

3.2.5 Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini terdiri dari kesimpulan mengenai proses pemodelan dan hasil-hasil yang diperoleh dalam penelitian ini serta rekomendasi atau saran untuk pengembangan model selanjutnya.

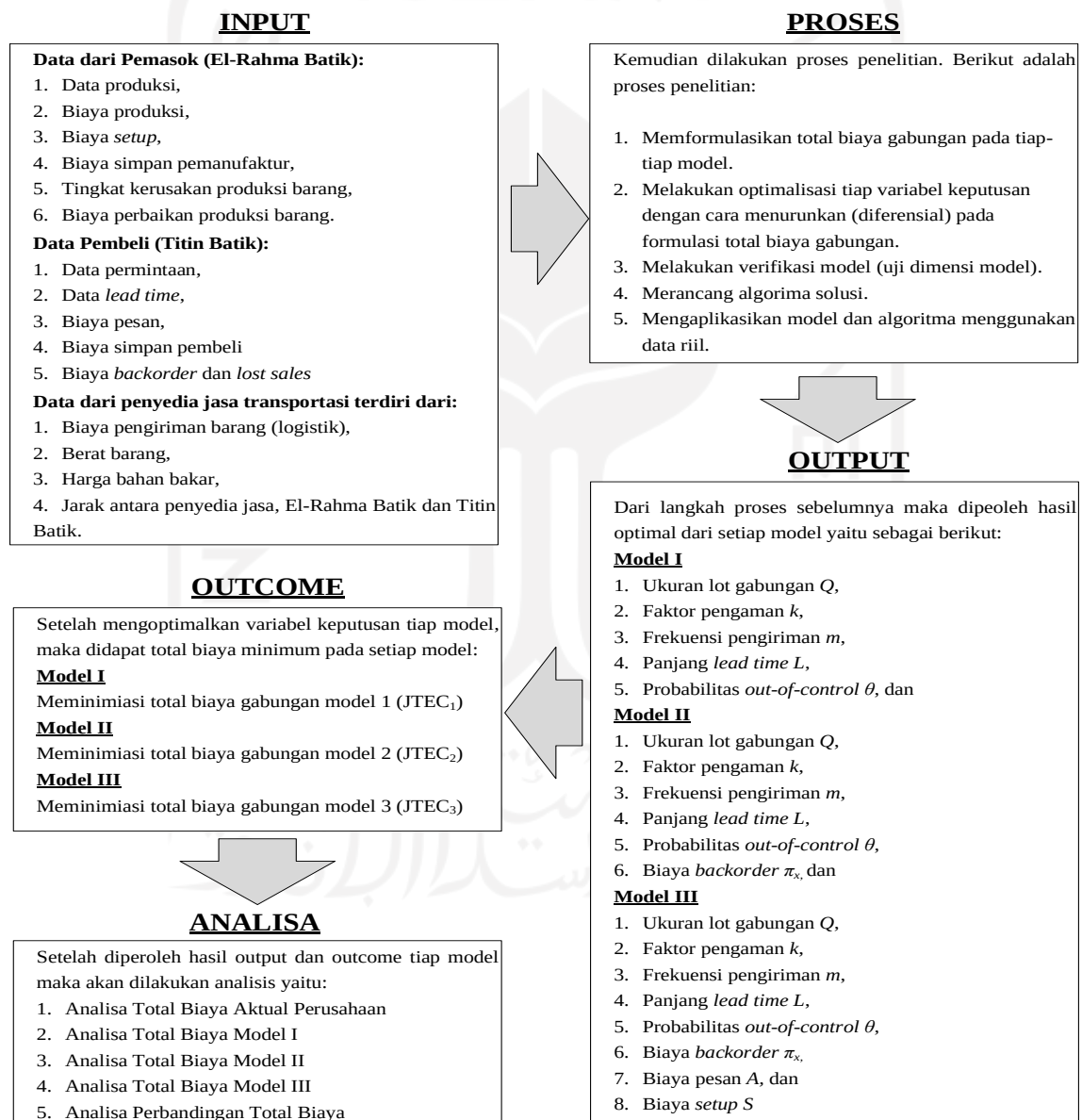
Adapun *flowchart* langkah penelitian secara lengkap pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Flowchart Langkah Penelitian

3.3 Kerangka Pikir Penelitian

Penelitian ini mencari solusi optimal dalam persediaan sistem rantai pasok 2 eselon yang terdiri dari pembeli tunggal (Titin Batik) dan pemasok tunggal (El-Rahma Batik) untuk multi produk yang permintaan bersifat probabilistik serta melibatkan penyedia jasa pengiriman. Dalam penelitian mengembangkan 3 model dari model dasar. Berikut adalah Gambar 3.2 kerangka pikir penelitian.

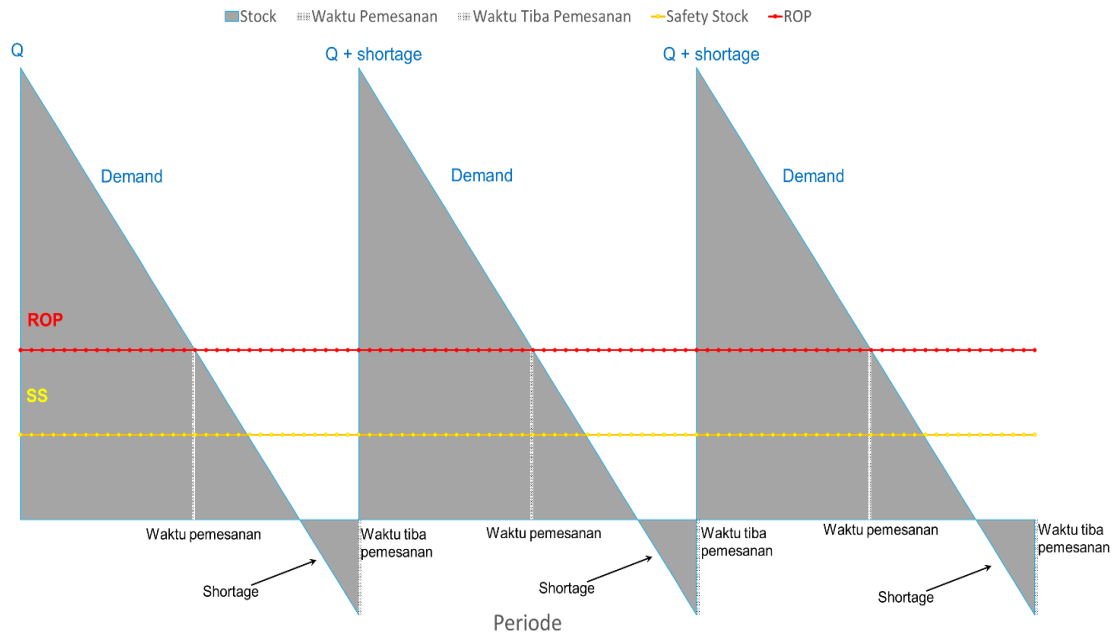


Gambar 3.2 Kerangka Pikir Penelitian

3.4 Karakteristik Sistem

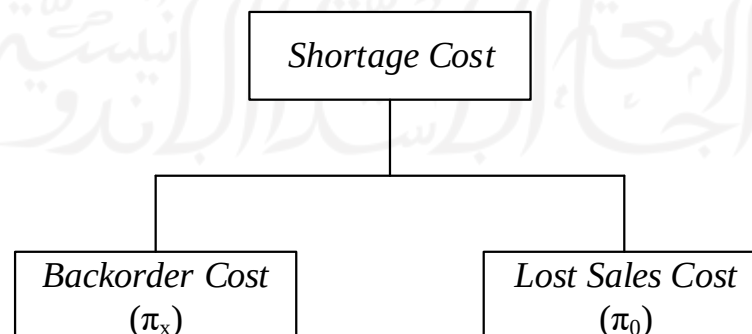
Penelitian ini dilakukan pada sebuah perusahaan manufaktur yang bergerak dalam bidang pembuatan pakaian batik. Sistem yang diamati adalah sistem rantai pasok 2 eselon yang terdiri atas pembeli tunggal yaitu Titin Batik dan pemasok atau produsen tunggal yaitu El-Rahma Batik. El-Rahma Batik sebagai *focus company* menjual 3 macam produknya ke perusahaan retail Titin Batik sebagai *point of sales* untuk menjual produk langsung ke pelanggan akhir. Sesuai perjanjian kontrak yang telah disepakati bersama, maka perusahaan Titin Batik akan melakukan peramalan permintaan (*demand forecasting*), D , untuk menentukan pemesanan yang optimal Q berdasarkan data riwayat permintaan periode sebelumnya. Kemudian data Riwayat permintaan pelanggan yang bersifat probabilistik tersebut diberikan kepada El-Rahma Batik sebagai informasi untuk acuan membuat rencana produksi (*aggregate planning*). Sistem rantai pasok ini melibatkan pihak ketiga jasa pengiriman / logistik barang dari El-Rahma Batik kepada Titin Batik.

Adapun aliran produk pada sistem rantai pasok dari hulu ke hilir dengan diawali ketika ada permintaan dari pelanggan akhir D kepada Titin Batik untuk membeli 3 macam produk batik dalam jumlah yang banyak. Titin Batik terutama pada bagian pemasaran akan memeriksa persediaan produknya yang ada digudang h_b . Jika jumlah persediaan produk yang berada digudang sudah mulai menipis dan permintaan semakin banyak, maka Titin Batik akan melakukan pemesanan ulang ($ROP = DL + k\sigma\sqrt{L}$ dimana DL adalah ekspektasi permintaan selama *lead time*) kepada El-Rahma Batik sebesar Q dengan biaya pesan A . Dalam hal ini Titin Batik menyiapkan stok pengaman (*safety stock*) dimana stok pengaman adalah persediaan tambahan dalam persediaan yang berfungsi sebagai penyangga untuk mencegah kekurangan persediaan dalam kaitannya menghadapi gangguan-gangguan yang datang tanpa diprediksi dari dalam sistem maupun lingkungan. Jumlah stok pengaman ditentukan yaitu $k\sigma\sqrt{L}$ dimana k adalah faktor pengaman dan $\sigma\sqrt{L}$ adalah standar deviasi. Persediaan akan ditinjau secara berkelanjutan (*continuous review*). Karena permintaan pelanggan akhir yang probabilistik sehingga dapat menimbulkan kemungkinan terjadinya *shortage*. Berikut adalah Gambar 3.3 yang menunjukkan pola persediaan Titin Batik.



Gambar 3.3 Pola Persediaan Titin Batik

Karena dengan mempertimbangkan terjadinya *shortage* maka Titin Batik akan menanggung biaya kekurangan persediaan (*shortage cost*). Selama periode kehabisan stok, maka semua permintaan akan dipesan ulang (*backorder*), dimana pelanggan bersedia menunggu sampai permintaan mereka terpenuhi, atau bisa terjadi kehilangan kesempatan mendapat keuntungan atau kehilangan konsumen atau pelanggan (*lost sales*) karena kecewa sehingga beralih ketempat yang lain. Adapun klasifikasi biaya kekurangan atau *shortage cost* dapat dilihat pada Gambar 3.4.



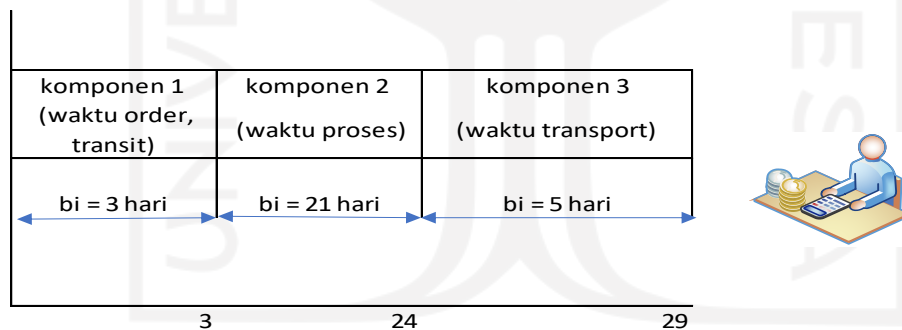
Gambar 3.4 Klasifikasi *Shortage Cost*

Dalam rangka untuk memenuhi permintaan pelanggan yang mau menunggu untuk pemesanan ulang, kemudian peralatan yang menganggur atau bahkan hilang produksi selama masa kehabisan stok, Titin Batik dapat menawarkan potongan *backorder price* untuk *stokout item* tersebut tergantung pada jumlah pemesanan ulang. Dengan Titin Batik menawarkan *backorder price discount* kepada pelanggan maka akan dapat memotivasi keinginan pelanggan untuk pemesanan ulang selama periode *shortage* atau *stokout*. Dengan demikian *backorder price discount* dan *lead time* yang dapat dinegoisasi sedemikian rupa sehingga Titin Batik dapat mengurangi kerugian kehilangan penjualan pada masa sekarang dan masa yang akan datang dan pelanggan mungkin bisa mendapatkan produk dalam kurun waktu yang tidak terlalu lama.

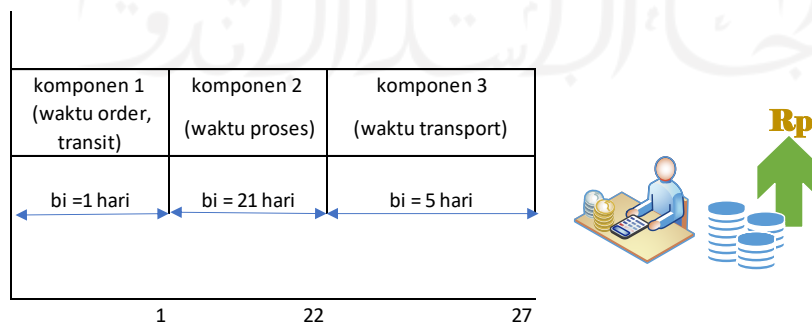
Selanjutnya pada bagian pemasaran El-Rahma Batik (Pemasok) akan menerima ukuran lot pemesanan Q dan memeriksa posisi persediaan produk batik yang berada digudang pemasok dan apabila persediaan digudang mencukupi dengan jumlah pemesanan, maka bagian pemasaran akan mengirimkan produk sebanyak m kali sesuai dengan jumlah, harga dan waktu pengiriman yang telah disepakati bersama dengan melibatkan penyedia jasa pengiriman seperti JNE. El-Rahma Batik akan memproduksi produk sesuai dengan perencanaan produksi (*aggregate planning*) yang telah dibuat. Setelah melakukan perencanaan produksi, bagian produksi El-Rahma Batik akan memproduksi ukuran lot sebesar mQ dengan tingkat produksi yang terbatas sebesar P dalam satu kali *setup* S , dengan $P > D$. Dengan mempertimbangkan kondisi aktual dimana dalam pelaksanaannya terdapat mesin-mesin produksi yang menyebabkan produk cacat (*defect*) akibat dari proses produksi tidak sempurna dengan tingkat probabilitas *out-of-control* sebesar θ (%). Sehingga El-Rahma Batik melakukan pengerjaan ulang dengan biaya pengerjaan ulang atau *rework* sebesar g (Rp) untuk tiap produk yang cacat. Selanjutnya produk yang baik akan disimpan digudang dengan dikenakan biaya simpan h_p . Dengan mempertimbangkan jumlah hasil produksi yang cacat, maka El-Rahma Batik melakukan investasi perbaikan kualitas dengan investasi modal awal untuk memperbaiki kualitas seperti menambah mesin yang berkapasitas lebih besar dan lebih canggih,

menambah tenaga kerja atau tenaga ahli, menggunakan bahan baku yang lebih berkualitas, dan lain-lain sebesar t (%/Rp/tahun).

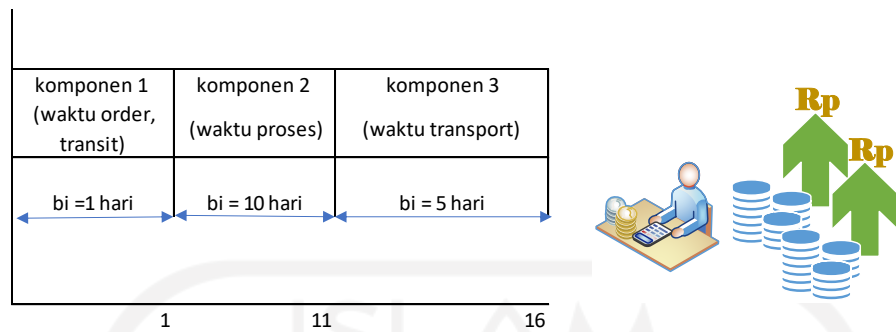
Dalam rangka memenuhi stok persediaan produk pakaian pada Titin Batik yang lebih cepat, dinamis dan fluktuatif dari pelanggan akhir maka Titin Batik dapat meminta kepada El-Rahma Batik untuk dilakukan percepatan *lead time*. Percepatan tersebut akan menimbulkan biaya tambahan yaitu biaya *crashing lead time* pada tiap komponen *lead time*, L yang dipercepat. Sebelum dilakukan hal tersebut, tiap komponen *lead time* yang terdiri dari $i = 1, 2, \dots, j$ dan saling *independent* akan ditawarkan oleh El-Rahma Batik kemudian Titin Batik dapat memilih untuk menyetujui atau menolak percepatan *lead time* dengan mempertimbangkan total biaya optimum. Komponen *lead time* ke- i memiliki durasi normal d_i (hari), durasi minimum c_i (hari), dan biaya percepatan perhari e_i (Rp/hari). Biaya percepatan *lead time* tersebut akan ditanggung oleh pembeli. Adapun ilustrasi *lead time* tanpa percepatan dan setelah dilakukan percepatan dapat diilustrasikan Gambar 3.5-3.8 berikut ini:



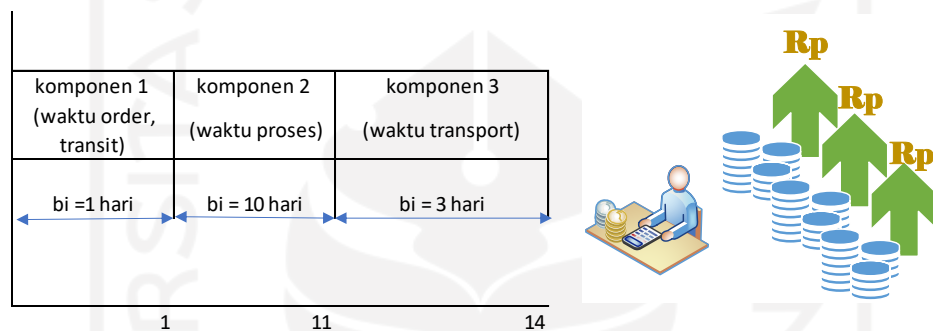
Gambar 3.5 Ilustrasi *Lead Time* Normal dan Belum Dilakukan Percepatan



Gambar 3.6 Ilustrasi Percepatan Pada Komponen *Lead Time* 1



Gambar 3.7 Ilustrasi Percepatan Pada Komponen *Lead Time* 1 dan 2

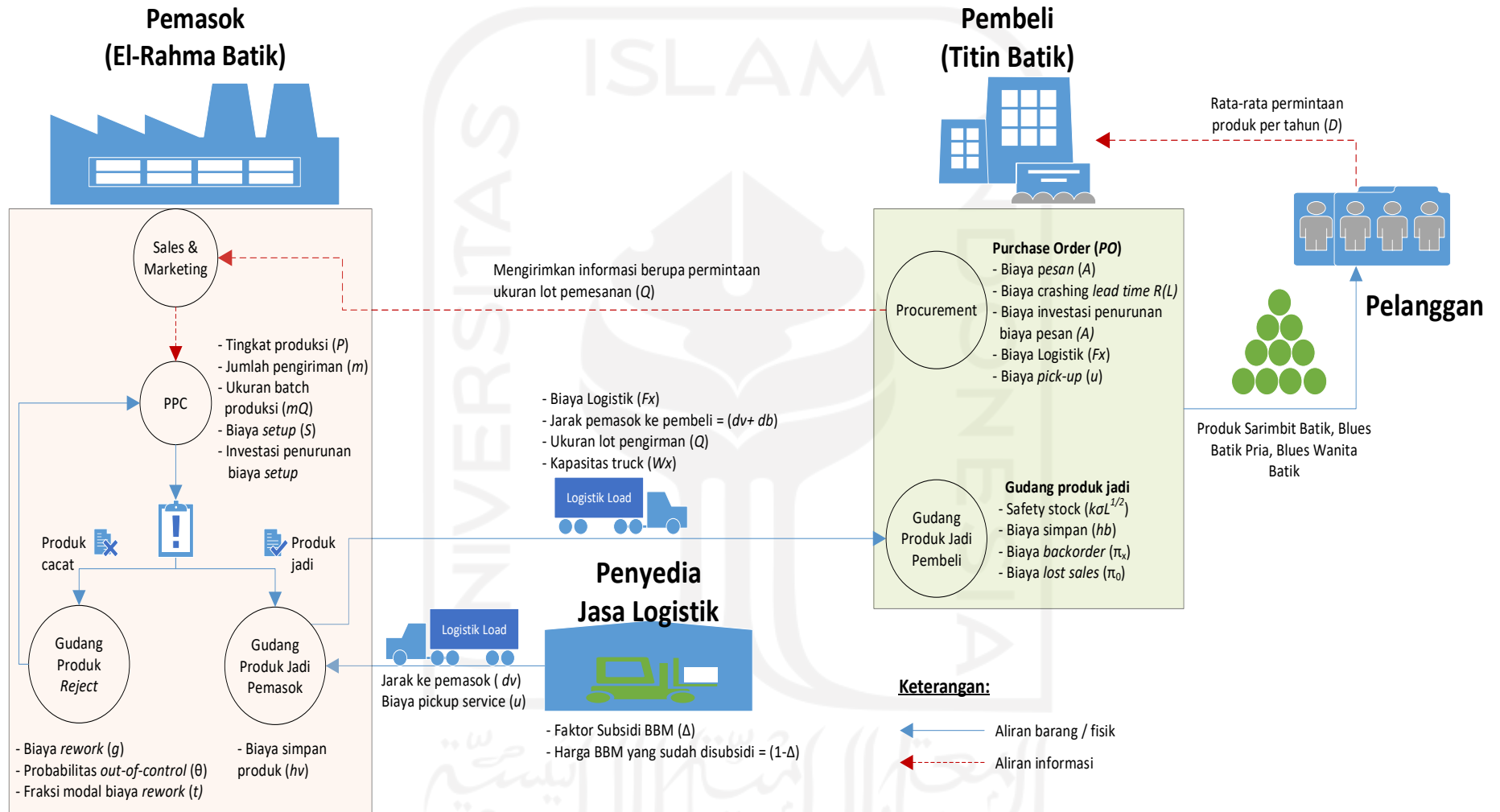


Gambar 3.8 Ilustrasi Percepatan Pada Komponen *Lead Time* 1, 2 dan 3

Biaya pengadaan secara umum terbagi menjadi dua yaitu biaya pesan dan biaya *setup*. Biaya pesan dan *setup* merupakan biaya-biaya yang tidak menambah nilai (*non-added value*). Biaya pesan adalah biaya yang dikeluarkan untuk sekali pemesanan seperti biaya telepon, *faximile* dan administrasi. Biaya *setup* adalah biaya-biaya yang dibutuhkan untuk melakukan penyesuaian pada saat membuat suatu barang seperti mempersiapkan mesin produksi, tenaga kerja, penggunaan bahan bakar, persipapan bahan baku, persiapan lainnya yaitu pelapis lilin, dan pelapis warna. Oleh karena itu Titin Batik dan El-Rahma Batik mengoptimalkan biaya-biaya tersebut dengan cara mengurangi biaya pesan dan biaya *setup*. Adapun cara mengoptimalkan biaya-biaya tersebut yaitu menginvestasikan pada modal awal untuk penurunan biaya secara waktu yang berkelanjutan seperti memasang jaringan internet dengan tambahan fasilitas telepon gratis serta mampu menggunakan teknologi *electronic mail* yang bertujuan menekan biaya-biaya administrasi dan operasional seperti biaya telepon, *faximile*, percetakan, dan administrasi lainnya.

Saat ini perusahaan masih menanggung biaya transportasi yang menggunakan fasilitas transportasi perusahaan dengan membebakan biaya operasional biaya *maintenance* kendaraan, biaya bahan bakar, pajak dan lain-lain. Dalam menekan biaya transportasi, kedua belah pihak yaitu El-Rahma Batik dan Titin Batik dapat bekerja sama dengan mengintegrasikan bersama penyedia jasa pengiriman yang terpercaya dan menawarkan biaya yang murah. Banyak manfaat dan keuntungan yang didapat dengan bekerja sama penyedia jasa pengiriman diantaranya praktis memberikan kemudahan dan kelancaran dalam operasional, menghemat waktu dan juga biaya. Perusahaan penyedia jasa pengiriman sebagai pihak ketiga yang menawarkan layanan antar-jemput (*pick-up service*), kemudian pihak ketiga mengambil produk jadi dan mengirimkan dari El-Rahma Batik ke Titin Batik dengan jarak d_v . Sebagai konsekuensinya pihak ketiga menagihkan biaya jasa antar-jemput tersebut dengan biaya tambahan sebesar u (Rp) yang sepenuhnya dibayar oleh Titin Batik. Biaya tambahan ini meliputi biaya *material handling*, biaya tenaga kerja, biaya pemesanan *pick-up*, dan lain-lain. Harga BBM dipengaruhi dengan kebijakan pemerintah melalui subsidi. Harga BBM dirumuskan $\delta(1 - \Delta)$, dengan $0 \leq \Delta < 1$ dan Δ adalah faktor subsidi yang ditentukan pemerintah. Jarak antara El-Rahma Batik dan Titin Batik terhadap penyedia jasa pengiriman adalah *linear*. Setelah penyedia jasa pengiriman mengangkut muatan sebesar wQ yang sesuai dengan kapasitas truk W_x , kemudian produk tersebut akan dikirim kepada Titin Batik dengan total jarak El-Rahma Batik menuju Titin Batik adalah $d_v + d_b$. Sehingga total jarak keseluruhannya dari penyedia jasa, El-Rahma Batik, dan Titin Batik adalah $2d_v + d_b$. Seluruh biaya logistik menjadi tanggung jawab Titin Batik.

Adapun karakteristik sistem rantai pasok keseluruhan yang diteliti terlihat pada Gambar 3.9 dibawah ini.



Gambar 3.9 Karakteristik Sistem Pada Penelitian yang Dilakukan

3.5 Pengembangan Model

Dalam pengembangan model ini mengikuti sistem yang telah dijelaskan diatas. Adapun model-model yang dikembangkan adalah sebagai berikut:

- Model I : Proses produksi tidak sempurna dan perbaikan kualitas
- Model II : Proses produksi tidak sempurna, perbaikan kualitas dan *backorder price discount*, dan
- Model III : Proses produksi tidak sempurna, perbaikan kualitas, *backorder price discount*, penurunan biaya pesan dan *setup*.

3.5.1 Notasi dan Asumsi Model

Pada *subbab* ini membahas mengenai notasi model berupa indeks, variabel keputusan, kriteria perfomansi, dan asumsi.

Indeks:

i = komponen *lead time*, $i = 1, \dots, j$

Parameter:

D	= rata-rata permintaan pembeli	(unit/tahun)
P	= tingkat produksi pemasok	(unit/ tahun)
A_0	= biaya pesan pembeli per sekali pesan	(Rp)
S_0	= biaya <i>setup</i> pemasok per sekali <i>setup</i>	(Rp)
h_b	= biaya simpan pembeli per unit per tahun	(Rp/unit/tahun)
h_v	= biaya simpan pemasoki per unit per tahun	(Rp/unit/tahun)
r	= titik pemesanan ulang pembeli	(unit)
t	= fraksi modal dari biaya perbaikan per tahun	(Rp/tahun)
θ_0	= probabilitas <i>out-of-control</i> awal	(%/unit)
π_0	= batas keuntungan pembeli	(Rp/unit)
β	= rasio <i>backorder</i> , $0 \leq \beta \leq 1$	
β_0	= batas atas dari rasio <i>backorder</i> $0 \leq \beta_0 \leq 1$	
g	= biaya rework per unit pemasok	(Rp/unit)
λ	= penurunan presentase dalam θ per rupiah peningkatan pada $I(\theta)$	
τ	= penurunan presentase dalam A per rupiah peningkatan pada $I(A)$	
ξ	= penurunan presentase dalam S per rupiah peningkatan pada $I(S)$	

σ	= standar deviasi permintaan pembeli	(unit/minggu)
c_i	= durasi minimum dari <i>lead-time</i>	(hari)
d_i	= durasi normal dari <i>lead-time</i>	(hari)
e_i	= biaya percepatan <i>lead-time</i>	(Rp/hari)
$B(r)$	= ekspektasi permintaan pembeli	(unit)
$\varphi(k)$	= fungsi kepekatan probabilitas (<i>p.d.f.</i>) berdistribusi normal	
$\Phi(k)$	= fungsi distribusi komulatif (<i>c.d.f.</i>) berdistribusi normal	
w	= berat suatu barang	(kg/unit)
d_b	= jarak antara penyedia jasa logistik ke pembeli	(km)
d_v	= jarak antara pemasok ke penyedia jasa logistik	(km)
α	= factor diskon untuk pengiriman LTL, $0 \leq \alpha \leq 1$	
F_x	= biaya logistik untuk FTL	(Rp/kg/km)
F_y	= biaya logistik aktual	(Rp/kg/km)
W_x	= berat pengiriman FTL	(kg)
W_y	= berat pengiriman aktual	(kg)
δ	= harga bahan bakar	(Rp/liter)
γ	= konsumsi bahan bakar dari sebuah truk disel	(liter/km)
Δ	= faktor subsidi bahan bakar dari pemerintah, $0 \leq \Delta < 1$	
u	= biaya tambahan per pengiriman untuk kebijakan <i>pickup</i>	(Rp)

Variabel keputusan:

Q^*	= ukuran lot pemesanan optimal	(unit)
k^*	= faktor pengaman persediaan optimal pembeli	(kali)
L^*	= panjang <i>lead-time</i> optimal	(hari)
m^*	= jumlah pengiriman optimal dalam sekali produksi	(kali)
θ^*	= probabilitas status <i>out-of-control</i> optimal proses produksi	(%/unit)
π_x^*	= <i>backorder price</i> optimal pembeli	(Rp/unit)
A^*	= biaya pesan optimal pembeli per sekali pesan	(Rp)
S^*	= biaya <i>setup</i> optimal pemasok per sekali <i>setup</i>	(Rp)

Kriteria performansi:

TEC_b	= total biaya ekspektasi dari pembeli	(Rp/tahun)
TEC_v	= total biaya ekspektasi dari pemasok	(Rp/tahun)
$JTEC$	= total biaya ekspektasi gabungan	(Rp/tahun)

Asumsi Model:

Beberapa asumsi dari model ini adalah sebagai berikut:

1. Model ini mengasumsikan multi produk dengan sistem persediaan pemasok tunggal (El-Rahma Batik) dan pembeli tunggal (Titin Batik) yang melibatkan penyedia jasa logistik tunggal sebagai pihak ketiga.
2. Asumsi multi produk yang dihasilkan pada model adalah ukuran lot gabungan Q . Untuk memperoleh ukuran lot setiap produk menggunakan metode proporsi yaitu $Q_p = \frac{D_p \times Q}{D}$, $p = 1, 2, \dots, P$, dimana p adalah jenis produk.
3. Pembeli melakukan pemesanan ukuran lot Q dengan biaya pesan A kemudian pemasok memproduksi ukuran lot sebesar mQ dengan tingkat produksi yang terbatas sebesar P dalam satu kali *setup* (S), $P > D$. Selanjutnya pemasok mengirimkan ukuran lot Q kepada pembeli sebanyak m kali.
4. Permintaan selama *lead time* mengikuti distribusi normal dengan rata-rata DL dan standar deviasinya $\sigma\sqrt{L}$.
5. Persediaan (*inventory*) akan ditinjau secara berkelanjutan (*continuous review*). *Reorder point* dirumuskan yaitu $r = DL + k\sigma\sqrt{L}$, dimana DL adalah ekspektasi permintaan selama *lead-time* dan $k\sigma\sqrt{L}$ adalah *stock* pengaman dan k adalah faktor pengaman.
6. *Lead time*, L terdiri dari j komponen yang saling *independent*. Komponen ke- i memiliki durasi normal d_i , durasi minimum c_i dan biaya percepatan perhari e_i . Diasumsikan biaya percepatan tiap komponen diatur yaitu $e_1 \leq e_2 \leq \dots \leq e_j$.
7. L_0 adalah total panjang *lead-time* seluruh komponen dan L_i adalah panjang *lead time* tiap komponen yang dipercepat dengan durasi minimumnya. Biaya percepatan *lead time* yang terjadi pada pemasok akan ditanggung sepenuhnya oleh pembeli karena percepatan *lead time* merupakan permintaan dari pembeli.
8. Biaya percepatan *lead time* yang timbul akan dibebankan kepada pembeli.
9. Biaya produksi tidak dipertimbangkan dalam model sebab diasumsikan bahwa biaya produksi per satuan produk tidak dipengaruhi oleh jumlah barang yang diproduksi, sehingga total biaya produksi dalam waktu tertentu dalam model tidak akan mempengaruhi solusi optimal terhadap *operating cost*.

10. Model mempertimbangkan fungsi algoritma yang disarankan oleh Porteus (1986) untuk perbaikan kualitas, penurunan biaya pesan dan penurunan biaya *setup*:

$$I(\theta) = n \ln \left(\frac{\theta_0}{\theta} \right) \text{ dimana } 0 < \theta \leq \theta_0 ; n = \frac{1}{\lambda}.$$

$$I(A) = a \ln \left(\frac{A_0}{A} \right) \text{ dimana } 0 < A \leq A_0 ; a = \frac{1}{\tau}.$$

$$I(S) = b \ln \left(\frac{S_0}{S} \right) \text{ dimana } 0 < S \leq S_0 ; b = \frac{1}{\xi}.$$

Aplikasi dari fungsi algoritma banyak digunakan beberapa peneliti, seperti: Ouyang *et al.* (2002), Yang dan Pan (2004), Ouyang *et al.* (2007), Huang (2010), Sarkar dan Moon (2014), Vijayashree dan Uthayakumar (2015), Jindal dan Solanki (2016), dan Tiwari *et al.* (2018, 2020).

11. Ratio *backorder* pembeli, β , adalah bentuk variabel dan proporsi dari potongan harga yang ditawarkan pembeli kepada pelanggan akhir, π_x ; sehingga $\beta = \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0}$, dimana $0 < \beta_0 < 1$; $0 \leq \pi_x \leq \pi_0$ (Pan dan Hsiao, 2001; Pan *et al.*, 2004; Lo *et al.*, 2008; Huang, 2010; Sarkar *et al.*, 2015; Jindal dan Solanki, 2016; Tiwari, 2020).
12. Perusahaan penyedia jasa pengiriman sebagai pihak ketiga yang menawarkan layanan antar-jemput (*pick-up service*), kemudian pihak ketiga mengambil produk jadi dan mengirimkan dari pemasok ke pembeli. Sebagai konsekuensinya pihak ketiga menagihkan biaya jasa antar-jemput tersebut dengan biaya tambahan sebesar u (Rp) yang sepenuhnya dibayar oleh pembeli. Biaya tambahan ini meliputi biaya *material handling*, biaya tenaga kerja, biaya pemesanan *pick-up*, dan lain-lain. Model ini pertama kali dikembangkan oleh Wangsa dan Wee (2017).
- a) Harga BBM dipengaruhi dengan kebijakan pemerintah melalui subsidi. Harga BBM dirumuskan $\delta(1 - \Delta)$, dengan $0 \leq \Delta < 1$ dan Δ adalah faktor subsidi yang ditentukan pemerintah.
 - b) Jarak antara semua pihak diasumsikan linear.
 - c) Seluruh biaya logistik menjadi tanggung jawab pembeli.
13. Penelitian ini mengijinkan adanya *shortage* atau kekurangan persediaan dengan dibagi menjadi *backorder* dan *lost sales*.

3.5.2 Model I: Proses Produksi Tidak Sempurna dan Perbaikan Kualitas

Pada pemasok yang mengalami proses penurunan kualitas produksi sehingga menghasilkan produk cacat dengan probabilitas tertentu yang mengakibatkan kerugian karena timbul biaya *rework*. Dalam rangka untuk menurunkan biaya *rework*, pemasok dapat melakukan usaha untuk perbaikan kualitas produksinya dengan melakukan tambahan biaya berupa investasi perbaikan kualitas produksi (n) seperti menambah permesinan, pelatihan, pemilihan kualitas bahan baku, dan lainnya. Adanya penambahan investasi tersebut menimbulkan bunga dalam setahun (t). Oleh karena itu, pada usulan model pertama ini, formulasi model matematika akan mempertimbangkan biaya pengerjaan ulang atau *rework* akibat dari proses produksi tidak sempurna yang menghasilkan produk cacat dengan probabilitas *out-of-control* (θ). Jika g adalah biaya *rework* untuk tiap produk yang cacat dan ukuran *lot* produksi adalah mQ maka, total biaya *rework* per tahun dan biaya perbaikan kualitas produksi adalah sebagai berikut:

$$\text{Biaya } rework \text{ pertahun} = \frac{gmQD\theta}{2} \quad \dots (3.1)$$

$$\text{Biaya perbaikan kualitas} = tn \cdot \ln\left(\frac{\theta_0}{\theta}\right) \quad \dots (3.2)$$

Asumsi tambahan untuk model I adalah pada penambahan investasi perbaikan kualitas tidak mempengaruhi parameter lainnya seperti biaya *setup* pada pemasok. Model I merupakan penggabungan total biaya ekspektasi gabungan dari model dasar (Persamaan 2.19) dengan biaya *rework* (Persamaan 3.1) dan biaya perbaikan kualitas (Persamaan 3.2). Sehingga total biaya ekspektasi gabungan dengan proses produksi tidak sempurna dan perbaikan kualitas (*quality improvement*) adalah sebagai berikut:

$$JTEC_1(Q, k, L, m, \theta) = JTEC_0(Q, k, L, m) + rework \text{ cost} + \text{perbaikan kualitas}$$

$$JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)$$

$$= \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\}$$

$$+ \frac{Q}{2} \left\{ h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] + h_b [k \sigma \sqrt{L} + (1 - \beta) \sigma \sqrt{L} \Psi(k)] \right\}$$

$$+ D(1 - \alpha) F_x w (2d_v + d_b) + \frac{gmQD\theta}{2} + tn \cdot \ln\left(\frac{\theta_0}{\theta}\right)$$

Persamaan diatas dapat ditulis kembali menjadi:

$$\begin{aligned}
 JTEC_1(Q, k, L, m, \theta) & \dots (3.3) \\
 = & \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\
 & + \frac{Q}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} + h_b [k\sigma\sqrt{L} + (1 - \beta)\sigma\sqrt{L}\Psi(k)] \\
 & + D(1 - \alpha)F_x W(2d_v + d_b) + tn \cdot \ln \left(\frac{\theta_0}{\theta} \right)
 \end{aligned}$$

3.5.3 Model II: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas, dan Backorder Price Discount (BPD)

Pada Model II ini mempertimbangkan kondisi pembeli yang mempunyai permintaan pelanggan yang berfluktuatif sehingga adanya resiko terjadinya *shortage*. Dalam kondisi tersebut dapat membuat kerugian suatu perusahaan karena akan ada kondisi *backorder* dan *lost sales*. Sehingga untuk meminimasi kerugian perusahaan yang diakibatkan pada kondisi *shortage* perlu ada strategi untuk mengoptimalkan salah satu kondisi yaitu *backorder*. Dimana pembeli menawarkan kepada pelanggan akhir untuk bersedia menunggu sampai barang tersebut tersedia kembali, sehingga pembeli akan melakukan *backorder* kepada pihak pemasok. Tujuan dari pengembangan model ini adalah mengoptimalkan biaya *backorder* dimana terdapat memindahkan keuntungan dari pemasok kepada pelanggan akhir dalam bentuk pemberian *cashback* atau *voucher* berbelanja kembali agar *service level* kepada pelanggan akhir dapat terjaga. Disamping itu juga *backorder price discount* diberikan oleh pemasok salah satunya dikarenakan adanya toleransi keterlambatan produksi karena produk cacat. Berikut adalah formulasi *backorder price discount*:

$$\beta = \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \dots (3.4)$$

Asumsi tambahan untuk model II adalah pada pengoptimalan biaya *backorder* tidak mempengaruhi paramater biaya pesan di pembeli dan biaya *setup* di pemasok. Untuk membangun Model II, (Persamaan 3.4) disubstitusi kedalam (Persamaan 3.3). Sehingga

total biaya ekspektasi gabungan dengan mempertimbangkan proses produksi tidak sempurna, perbaikan kualitas, dan *backorder price discount* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 & JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x) \\
 &= \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\pi_x \left(\frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) + \pi_0 \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\
 &+ \frac{Q}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} + h_b \left[k\sigma\sqrt{L} + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \sigma \sqrt{L} \Psi(k) \right] \\
 &+ D(1 - \alpha) F_x w (2d_v + d_b) + tn. \ln \left(\frac{\theta_0}{\theta} \right)
 \end{aligned}$$

Persamaan diatas dapat ditulis kembali menjadi:

$$\begin{aligned}
 & JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x) \quad \dots (3.5) \\
 &= \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\
 &+ \frac{Q}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} + h_b \left[k\sigma\sqrt{L} + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \sigma \sqrt{L} \Psi(k) \right] \\
 &+ D(1 - \alpha) F_x w (2d_v + d_b) + tn. \ln \left(\frac{\theta_0}{\theta} \right)
 \end{aligned}$$

3.5.4 Model III: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas, *Backorder Price Discount* (BPD), dan Penurunan Biaya *Setup* dan Biaya Pesan

Selanjutnya pada model III ini mempertimbangkan adanya kondisi *shortage* yang mengakibatkan meningkatnya frekuensi pemesanan pembeli dan frekuensi *setup* pemasok sehingga kedua biaya tersebut menjadi meningkat. Selain itu juga mempertimbangkan jumlah produk cacat sehingga menambah frekuensi *setup* untuk pengerjaan ulang. Dalam rangka pembeli untuk menekan total biaya pesan dan pemasok menurunkan total biaya *setup* serta meminimalkan total biaya keseluruhan, oleh karena itu perlu adanya usaha dengan menambah modal investasi penurunan kedua biaya tersebut seperti investasi pada biaya pesan yaitu memasang jaringan internet dengan tambahan fasilitas telepon gratis serta mampu menggunakan teknologi *e-mail* yang bertujuan menekan biaya-biaya administrasi dan operasional seperti biaya telepon, *faximile*, percetakan, dan administrasi lainnya. Sedangkan pada investasi penurunan biaya *setup* dapat dilakukan dengan

perawatan mesin secara berkala dan memodifikasi mesin baru untuk memudahkan proses *setting* dengan diberi tanda visual sehingga waktu *setup* dapat direduksi.

Asumsi tambahan untuk model III adalah dengan adanya penambahan kedua investasi tersebut dapat mengoptimalkan parameter biaya pesan dan biaya *setup* sehingga kedua paramater tersebut saling berkesinambungan dan mempengaruhi optimal biaya keseluruhan. Kemudian pada model terakhir (Model III) merupakan model berkelanjutan dari model II.

$$\text{Biaya investasi penurunan biaya } setup = tb. \ln \left(\frac{S_0}{S} \right) \quad \dots (3.6)$$

$$\text{Biaya investasi penurunan biaya pesan} = ta. \ln \left(\frac{A_0}{A} \right) \quad \dots (3.7)$$

Dengan demikian, Model III dapat diformulasikan dengan menjumlahkan (Persamaan 3.5, 3.6, dan 3.7). Berikut adalah formulasinya:

$$\begin{aligned} JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A) \\ = \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\ + \frac{Q}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} + h_b \left[k\sigma\sqrt{L} + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \sigma \sqrt{L} \Psi(k) \right] \\ + D(1 - \alpha) F_x w (2d_v + d_b) + tn. \ln \left(\frac{\theta_0}{\theta} \right) + tb. \ln \left(\frac{S_0}{S} \right) + ta. \ln \left(\frac{A_0}{A} \right) \end{aligned}$$

Persamaan diatas dapat ditulis kembali menjadi:

$$\begin{aligned} JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A) \quad \dots (3.8) \\ = \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\ + \frac{Q}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} + h_b \left[k\sigma\sqrt{L} + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \sigma \sqrt{L} \Psi(k) \right] \\ + D(1 - \alpha) F_x w (2d_v + d_b) + t \left[n. \ln \left(\frac{\theta_0}{\theta} \right) + b. \ln \left(\frac{S_0}{S} \right) + a. \ln \left(\frac{A_0}{A} \right) \right] \end{aligned}$$

3.6 Optimasi

Untuk melakukan optimalisasi, penelitian ini menggunakan diferensial (turunan) pada ketiga formulasi model matematik yang telah dibangun sebelumnya. Metode turunan yang digunakan dilakukan secara parsial baik turunan pertama maupun turunan kedua. Turunan pertama digunakan untuk mencari fungsi optimal pada variabel-variabel keputusan yang telah ditetapkan dan turunan kedua merupakan syarat cukup yang menunjukkan fungsi tersebut adalah fungsi konveks (cekung) sesuai dengan tujuan performansi yaitu minimasi.

3.6.1 Model I: Proses Produksi Tidak Sempurna dan Perbaikan Kualitas

Variabel keputusan pada model pertama adalah (Q, k, L, m, θ) dimana $(Q > 0, k > 0, L > 0, m > 0, \theta > 0)$ yang meminimasi $JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)$. Berikut adalah langkah-langkah dalam melakukan optimalisasi.

3.6.1.1 Ukuran Lot Pemesanan Optimal (Q^*)

Jika (k, L, m, θ) konstan, maka $JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)$ akan mencapai nilai minimum pada Q yang memenuhi syarat perlu:

$$\begin{aligned} \frac{\partial JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)}{\partial Q} &= 0 \\ -\frac{D}{Q^2} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\ + \frac{1}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} &= 0 \end{aligned}$$

Atau dapat ditulis kembali menjadi

$$\begin{aligned} \frac{D}{Q^2} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\ = \frac{1}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} \end{aligned}$$

Dan diperoleh

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\}}{gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right]}} \quad \dots (3.9)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukan bahwa $JTEC_1(Q)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\frac{\partial^2 JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)}{\partial Q^2} > 0$$

$$\frac{2D}{Q^3} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} > 0 \quad \dots (3.10)$$

3.6.1.2 Faktor Pengaman Persediaan Optimal (k^*)

Jika (Q, L, m, θ) konstan, maka $JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)$ akan mencapai nilai minimum pada k yang memenuhi syarat perlu:

$$\frac{\partial JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)}{\partial k} = 0$$

$$\frac{D}{Q} [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} [\Phi(k) - 1] + h_b [\sigma \sqrt{L} + (1 - \beta) \sigma \sqrt{L} [\Phi(k) - 1]] = 0$$

Dan diperoleh

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{Q h_b}{D [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] + Q h_b (1 - \beta)} \quad \dots (3.11)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukan bahwa $JTEC_1(k)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\frac{\partial^2 JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)}{\partial k^2} > 0$$

$$\frac{D}{Q} [\pi_x \beta + \pi_0 (1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \varphi(k) + h_b (1 - \beta) \sigma \sqrt{L} \varphi(k) > 0 \quad \dots (3.12)$$

3.6.1.3 Panjang Lead-time Optimal (L^*)

Jika (Q, k, m, θ) konstan, maka $JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)$ akan mencapai nilai minimum pada L yang memenuhi syarat perlu:

$$\begin{aligned} \frac{\partial JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)}{\partial L} &= 0 \\ \frac{D}{Q} \left\{ -e_i + [\pi_x \beta + \pi_0 (1 - \beta)] \frac{\sigma}{2\sqrt{L}} \Psi(k) \right\} + h_b \left[k \frac{\sigma}{2\sqrt{L}} + (1 - \beta) \frac{\sigma}{2\sqrt{L}} \Psi(k) \right] &= 0 \end{aligned}$$

Dan diperoleh

$$L^* = \left(\frac{\sigma Q}{2D e_i} \left\{ \frac{D \Psi(k)}{Q} [\pi_x \beta + \pi_0 (1 - \beta)] + h_b [k + (1 - \beta) \Psi(k)] \right\} \right)^2 \quad \dots (3.13)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_1(L)$ merupakan fungsi konkaf (cembung) adalah:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)}{\partial L^2} &< 0 \\ -\frac{\sigma}{4L\sqrt{L}} \left\{ \frac{D}{Q} [\pi_0 (1 - \beta)] \Psi(k) + h_b k + (1 - \beta) \Psi(k) \right\} &< 0 \quad \dots (3.14) \end{aligned}$$

3.6.1.4 Jumlah Pengiriman Optimal (m^*)

Jika (Q, k, L, θ) konstan, maka $JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)$ akan mencapai nilai minimum pada m yang memenuhi syarat perlu:

$$\begin{aligned} \frac{\partial JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)}{\partial m} &= 0 \\ \frac{-SD}{m^2 Q} + \frac{Q}{2} \left[g D \theta + h_v \left(1 - \frac{D}{P} \right) \right] &= 0 \end{aligned}$$

Dan diperoleh

$$m^* = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{2SD}{gD\theta + h_v \left(1 - \frac{D}{P}\right)}} \quad \dots (3.15)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_1(m)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)}{\partial m^2} &> 0 \\ \frac{2SD}{m^3 Q} &> 0 \end{aligned} \quad \dots (3.16)$$

3.6.1.5 Probabilitas Status *Out-of-control* Optimal (θ^*)

Jika (Q, k, L, m) konstan, maka $JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)$ akan mencapai nilai minimum pada θ yang memenuhi syarat perlu:

$$\begin{aligned} \frac{\partial JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)}{\partial \theta} &= 0 \\ \frac{Q}{2} gmD - \frac{tn}{\theta} &= 0 \end{aligned}$$

Dan diperoleh

$$\theta^* = \frac{2tn}{gmDQ} \quad \dots (3.17)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_1(\theta)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)}{\partial \theta^2} &> 0 \\ \frac{tn}{\theta^2} &> 0 \end{aligned} \quad \dots (3.18)$$

3.6.2 Model II: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas, dan Backorder Price Discount (BPD)

Variabel keputusan pada model kedua adalah $JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)$ dimana ($Q > 0, k > 0, L > 0, m > 0, \theta > 0, \pi_x > 0$) yang meminimasi $JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)$. Berikut adalah langkah-langkah dalam melakukan optimalisasi.

3.6.2.1 Ukuran Lot Pemesanan Optimal (Q^*)

Jika (k, L, m, θ, π_x) konstan, maka $JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)$ akan mencapai nilai minimum pada Q yang memenuhi syarat perlu:

$$\begin{aligned} \frac{\partial JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)}{\partial Q} &= 0 \\ -\frac{D}{Q^2} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\ + \frac{1}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} &= 0 \end{aligned}$$

Atau dapat ditulis kembali menjadi

$$\begin{aligned} \frac{D}{Q^2} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\ = \frac{1}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} \end{aligned}$$

Dan diperoleh

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\}}{gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right]}} \quad \dots (3.19)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_2(Q)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\frac{\partial^2 JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)}{\partial Q^2} > 0$$

Maka

$$\frac{2D}{Q^3} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} > 0 \quad \dots (3.20)$$

3.6.2.2 Faktor Pengaman Persediaan Optimal (k^*)

Jika (Q, L, m, θ, π_x) konstan, maka $JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)$ akan mencapai nilai minimum pada k yang memenuhi syarat perlu:

$$\begin{aligned} \frac{\partial JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)}{\partial k} &= 0 \\ \frac{D}{Q} \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} [\Phi(k) - 1] + h_b \left\{ \sigma \sqrt{L} + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \sigma \sqrt{L} [\Phi(k) - 1] \right\} &= 0 \end{aligned}$$

Dan diperoleh

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{Q h_b}{D \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] + Q h_b \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right)} \quad \dots (3.21)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_2(k)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)}{\partial k^2} &> 0 \\ \frac{D}{Q} \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \phi(k) + h_b \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \sigma \sqrt{L} \phi(k) &> 0 \quad \dots (3.22) \end{aligned}$$

3.6.2.3 Panjang Lead-time Optimal (L^*)

Jika (Q, k, m, θ, π_x) konstan, maka $JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)$ akan mencapai nilai minimum pada L yang memenuhi syarat perlu:

$$\frac{\partial JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)}{\partial L} = 0$$

$$\frac{D}{Q} \left[-e_i + \left(\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right) \frac{\sigma \Psi(k)}{2\sqrt{L}} \right] + h_b \left[\frac{k\sigma}{2\sqrt{L}} + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \frac{\sigma \Psi(k)}{2\sqrt{L}} \right] = 0$$

Dan dapat diperoleh

$$L^* = \left\{ \frac{\sigma Q}{2De_i} \left[\frac{D\Psi(k)}{Q} \left(\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right) + h_b k + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \frac{\sigma \Psi(k)}{2\sqrt{L}} \right] \right\}^2 \quad \dots (3.23)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_2(L)$ merupakan fungsi konkaf (cembung) adalah:

$$\frac{\partial^2 JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)}{\partial L^2} < 0$$

$$-\frac{\sigma}{4L\sqrt{L}} \left\{ \frac{D}{Q} \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \Psi(k) + h_b k + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \Psi(k) \right\} < 0 \quad \dots (3.24)$$

3.6.2.4 Jumlah Pengiriman Optimal (m^*)

Jika (Q, k, L, θ, π_x) konstan, maka $JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)$ akan mencapai nilai minimum pada m yang memenuhi syarat perlu:

$$\frac{\partial JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)}{\partial m} = 0$$

$$-\frac{SD}{Qm^2} + \frac{Q}{2} \left\{ gD\theta + h_v \left(1 - \frac{D}{P} \right) \right\} = 0$$

Dan diperoleh

$$m^* = \sqrt{\frac{2SD}{Q^2 \left\{ gD\theta + h_v \left(1 - \frac{D}{P} \right) \right\}}} \quad \dots (3.25)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_2(m)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)}{\partial m^2} &> 0 \\ \frac{2SD}{Qm^3} &> 0\end{aligned}\quad \dots (3.26)$$

3.6.2.5 Probabilitas Status *Out-of-control* Optimal (θ^*)

Jika (Q, k, L, m, π_x) konstan, maka $JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)$ akan mencapai nilai minimum pada θ yang memenuhi syarat perlu:

$$\begin{aligned}\frac{\partial JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)}{\partial \theta} &= 0 \\ \frac{Q}{2}gmD - \frac{tn}{\theta} &= 0\end{aligned}$$

Dapat diperoleh

$$\theta^* = \frac{2tn}{QgmD} \quad \dots (3.27)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_2(\theta)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)}{\partial \theta^2} &> 0 \\ \frac{tn}{\theta^2} &> 0\end{aligned}\quad \dots (3.28)$$

3.6.2.6 Backorder Price Optimal (π_x^*)

Jika (Q, k, L, m, θ) konstan, maka $JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)$ akan mencapai nilai minimum pada π_x yang memenuhi syarat perlu:

$$\begin{aligned}\frac{\partial JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)}{\partial \pi_x} &= 0 \\ \frac{D}{Q} \left(\frac{2\pi_x \beta_0}{\pi_0} - \beta_0 \right) \sigma \sqrt{L} \Psi(k) - h_b \frac{\beta_0}{\pi_0} \sigma \sqrt{L} \Psi(k) &= 0\end{aligned}$$

Dan dapat diperoleh

$$\pi_x^* = \frac{\pi_0}{2} + \frac{h_b Q}{2D} \quad \dots (3.29)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_2(\pi_x)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)}{\partial \pi_x^2} &> 0 \\ \frac{D^2 \beta_0}{\pi_0 Q} \sigma \sqrt{L} \Psi(k) &> 0 \end{aligned} \quad \dots (3.30)$$

3.6.3 Model III: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas, *Backorder Price Discount (BPD)*, dan Penurunan Biaya Setup dan Biaya Pesan

Variabel keputusan pada model pertama adalah $(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)$ dimana $(Q > 0, k > 0, L > 0, m > 0, \theta > 0, \pi_x > 0, S > 0, A > 0)$ yang meminimasi total biaya $JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)$. Berikut adalah langkah-langkah dalam melakukan optimalisasi.

3.6.3.1 Ukuran Lot Pemesanan Optimal (Q^*)

Jika $(k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)$ konstan, maka $JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)$ akan mencapai nilai minimum pada Q yang memenuhi syarat perlu:

$$\begin{aligned} \frac{\partial JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial Q} &= 0 \\ -\frac{D}{Q^2} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\ + \frac{1}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} &= 0 \end{aligned}$$

Atau dapat ditulis kembali menjadi

$$\begin{aligned} & \frac{D}{Q^2} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\ &= \frac{1}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} \end{aligned}$$

Dan diperoleh

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\}}{gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right]}} \quad \dots (3.31)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_3(Q)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial Q^2} > 0 \\ & \frac{2D}{Q^3} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} > 0 \quad \dots (3.32) \end{aligned}$$

3.6.3.2 Faktor Pengaman Persediaan Optimal (k^*)

Jika $(Q, L, m, \theta, \pi_x, S, A)$ konstan, maka $JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)$ akan mencapai nilai minimum pada k yang memenuhi syarat perlu:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial k} = 0 \\ & \frac{D}{Q} \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} [\Phi(k) - 1] + h_b \left\{ \sigma \sqrt{L} + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \sigma \sqrt{L} [\Phi(k) - 1] \right\} = 0 \end{aligned}$$

Dan diperoleh

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{Q h_b}{D \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] + Q h_b \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right)} \quad \dots (3.33)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_3(k)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\frac{\partial^2 JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial k^2} > 0$$

$$\frac{D}{Q} \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \varphi(k) + h_b \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \sigma \sqrt{L} \varphi(k) > 0 \quad \dots (3.34)$$

3.6.3.3 Panjang Lead-time Optimal (L^*)

Jika $(Q, k, m, \theta, \pi_x, S, A)$ konstan, maka $JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)$ akan mencapai nilai minimum pada L yang memenuhi syarat perlu:

$$\frac{\partial JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial L} = 0$$

$$\frac{D}{Q} \left[-e_i + \left(\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right) \frac{\sigma \Psi(k)}{2\sqrt{L}} \right] + h_b \left[\frac{k\sigma}{2\sqrt{L}} + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \frac{\sigma \Psi(k)}{2\sqrt{L}} \right] = 0$$

Dan diperoleh

$$L^* = \left\{ \frac{\sigma Q}{2De_i} \left[\frac{D\Psi(k)}{Q} \left(\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right) + h_b k + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \frac{\sigma \Psi(k)}{2\sqrt{L}} \right] \right\}^2 \quad \dots (3.35)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_3(L)$ merupakan fungsi konkaf (cembung) adalah:

$$\frac{\partial^2 JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial L^2} < 0$$

$$-\frac{\sigma}{4L\sqrt{L}} \left\{ \frac{D}{Q} \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \Psi(k) + h_b k + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \Psi(k) \right\} < 0 \quad \dots (3.36)$$

3.6.3.4 Jumlah Pengiriman Optimal (m^*)

Jika $(Q, k, L, \theta, \pi_x, S, A)$ konstan, maka $JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)$ akan mencapai nilai minimum pada m yang memenuhi syarat perlu:

$$\frac{\partial JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial m} = 0$$

$$-\frac{SD}{Qm^2} + \frac{Q}{2} \left\{ gD\theta + h_v \left(1 - \frac{D}{P} \right) \right\} = 0$$

Dan diperoleh

$$m^* = \sqrt{\frac{2SD}{Q^2 \left\{ gD\theta + h_v \left(1 - \frac{D}{P} \right) \right\}}} \quad \dots (3.37)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_3(m)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\frac{\partial^2 JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial m^2} > 0$$

$$\frac{2SD}{Qm^3} > 0 \quad \dots (3.38)$$

3.6.3.5 Probabilitas Status *Out-of-control* Optimal (θ^*)

Jika $(Q, k, L, m, \pi_x, S, A)$ konstan, maka $JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)$ akan mencapai nilai minimum pada θ yang memenuhi syarat perlu:

$$\frac{\partial JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial \theta} = 0$$

$$\frac{Q}{2} gmD - \frac{tn}{\theta} = 0$$

Dan diperoleh

$$\theta^* = \frac{2tn}{gmD} \quad \dots (3.39)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_3(\theta)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\frac{\partial^2 JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial \theta^2} > 0$$

$$\frac{tn}{\theta^2} > 0 \quad \dots (3.40)$$

3.6.3.6 Backorder Price Optimal (π_x^*)

Jika $(Q, k, L, m, \theta, S, A)$ konstan, maka $JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)$ akan mencapai nilai minimum pada π_x yang memenuhi syarat perlu:

$$\frac{\partial JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial \pi_x} = 0$$

$$\frac{D}{Q} \left(\frac{2\pi_x \beta_0}{\pi_0} - \beta_0 \right) \sigma \sqrt{L} \Psi(k) - h_b \frac{\beta_0}{\pi_0} \sigma \sqrt{L} \Psi(k) = 0$$

Dan diperoleh

$$\pi_x^* = \frac{\pi_0}{2} + \frac{h_b Q}{2D} \quad \dots (3.41)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukan bahwa $JTEC_3(\pi_x)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\frac{\partial^2 JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial \pi_x^2} > 0$$

$$\left(\frac{D 2 \beta_0}{Q \pi_0} \right) \sigma \sqrt{L} \Psi(k) > 0 \quad \dots (3.42)$$

3.6.3.7 Biaya Setup Optimal (S^*)

Jika $(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, A)$ konstan, maka $JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)$ akan mencapai nilai minimum pada S yang memenuhi syarat perlu:

$$\frac{\partial JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial S} = 0$$

$$\frac{D}{mQ} - \frac{tb}{S} = 0$$

Dan diperoleh

$$S^* = \frac{tbmQ}{D} \quad \dots (3.43)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_3(S)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial S^2} &> 0 \\ \frac{tb}{S^2} &> 0 \end{aligned} \quad \dots (3.44)$$

3.6.3.8 Biaya Pesan Optimal (A^*)

Jika $(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S)$ konstan, maka $JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)$ akan mencapai nilai minimum pada A yang memenuhi syarat perlu:

$$\begin{aligned} \frac{\partial JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial A} &= 0 \\ \frac{D}{Q} - \frac{ta}{A} &= 0 \end{aligned}$$

Dan diperoleh

$$A^* = \frac{Qta}{D} \quad \dots (3.45)$$

Selanjutnya, sebagai syarat cukup untuk menunjukkan bahwa $JTEC_3(A)$ merupakan fungsi konveks adalah:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A)}{\partial A^2} &> 0 \\ \frac{ta}{A^2} &> 0 \end{aligned} \quad \dots (3.46)$$

3.7 Perbandingan Model

Setelah dilakukan optimalisasi seluruh variabel keputusan untuk ketiga model maka adapun perbandingan formulasi ketiga model tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel. 3.1 Rangkuman Formulasi Model I, Model II, dan Model III

Model	Variabel	Formulasi Model
Model I: Proses Produksi Tidak Sempurna dan Perbaikan Kualitas	Total Biaya Gabungan (<i>JTEC</i>)	$JTEC_1(Q, k, L, m, \theta)$ $= \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\}$ $+ \frac{Q}{2} \left\{ h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} + h_b [k \sigma \sqrt{L} + (1 - \beta) \sigma \sqrt{L} \Psi(k)]$ $+ D(1 - \alpha) F_x w (2d_v + d_b) + \frac{gmQD\theta}{2} + tn \cdot \ln \left(\frac{\theta_0}{\theta} \right)$
	Ukuran Lot Pemesanan Optimal (Q^*)	$Q^* = \sqrt{\frac{2D \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\}}{gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right]}}$
	Faktor Pengaman Persediaan Optimal (k^*)	$\Phi(k^*) = 1 - \frac{Q h_b}{D[\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] + Q h_b(1 - \beta)}$
	Jumlah Pengiriman Optimal (m^*)	$m^* = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{2SD}{gD\theta + h_v \left(1 - \frac{D}{P} \right)}}$
	Probabilitas Status <i>Out-of-control</i> Optimal (θ^*)	$\theta^* = \frac{2tn}{gmDQ}$
Model II: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas, dan	Total Biaya Gabungan (<i>JTEC</i>)	$JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)$ $= \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\}$ $+ \frac{Q}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} + h_b \left[k \sigma \sqrt{L} + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \sigma \sqrt{L} \Psi(k) \right]$

<i>Backorder Price Discount (BPD)</i>		$+D(1 - \alpha)F_x w(2d_v + d_b) + tn \cdot \ln\left(\frac{\theta_0}{\theta}\right)$
	Ukuran Lot Pemesanan Optimal (Q^*)	$Q^* = \sqrt{\frac{2D \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta)\gamma](2d_v + d_b) \right\}}{gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right]}}$
	Faktor Pengaman Persediaan Optimal (k^*)	$\Phi(k^*) = 1 - \frac{Q h_b}{D \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] + Q h_b \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right)}$
	Jumlah Pengiriman Optimal (m^*)	$m^* = \sqrt{\frac{2SD}{Q^2 \left\{ gD\theta + h_v \left(1 - \frac{D}{P} \right) \right\}}}$
	Probabilitas Status Out-of-control Optimal (θ^*)	$\theta^* = \frac{2tn}{QgmD}$
	<i>Backorder Price</i> Optimal (π_x^*)	$\pi_x^* = \frac{\pi_0}{2} + \frac{h_b Q}{2D}$
Model III: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas, <i>Backorder Price Discount (BPD)</i> , dan Penurunan Biaya Setup dan Biaya Pesan	Total Biaya Gabungan (<i>JTEC</i>)	$\begin{aligned} &JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A) \\ &= \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta)\gamma](2d_v + d_b) \right\} \\ &+ \frac{Q}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} + h_b \left[k\sigma\sqrt{L} + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \sigma \sqrt{L} \Psi(k) \right] \\ &+ D(1 - \alpha)F_x w(2d_v + d_b) + t \left[n \cdot \ln\left(\frac{\theta_0}{\theta}\right) + b \cdot \ln\left(\frac{S_0}{S}\right) + a \cdot \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) \right] \end{aligned}$
	Ukuran Lot Pemesanan Optimal (Q^*)	$Q^* = \sqrt{\frac{2D \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta)\gamma](2d_v + d_b) \right\}}{gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right]}}$

Faktor Pengaman Persediaan Optimal (k^*)	$\Phi(k^*) = 1 - \frac{Qh_b}{D \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] + Qh_b \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right)}$
Jumlah Pengiriman Optimal (m^*)	$m^* = \sqrt{\frac{2SD}{Q^2 \left\{ gD\theta + h_v \left(1 - \frac{D}{P} \right) \right\}}}$
Probabilitas Status <i>Out-of-control</i> Optimal (θ^*)	$\theta^* = \frac{2tn}{gmD}$
<i>Backorder Price</i> Optimal (π_x^*)	$\pi_x^* = \frac{\pi_0}{2} + \frac{h_b Q}{2D}$
Biaya Setup Optimal (S^*)	$S^* = \frac{tbmQ}{D}$
Biaya Pesan Optimal (A^*)	$A^* = \frac{Qta}{D}$

3.8 Algoritma Solusi

Dalam rangka untuk mendapatkan variabel keputusan yang optimal dengan meminimasi *Joint Total Expected Cost* (JTEC) dari ketiga model diatas maka dilakukan perancangan algoritma solusi. Untuk merancang algoritma solusi, penelitian ini menggunakan algoritma yang dikembangkan oleh Wangsa & Wee (2017) yang kemudian dikombinasikan dengan Tiwari *et al.* (2020) dan Sarkar & Giri (2020). Berikut adalah algoritma solusi untuk ketiga model tersebut.

3.8.1 Model I: Proses Produksi Tidak Sempurna dan Perbaikan Kualitas

Prosedur untuk mencari solusi pada Model I adalah sebagai berikut:

Langkah pertama : Tentukan $m = 1$.

Langkah kedua : Untuk tiap L_i , untuk $i = 0, 1, \dots, j$. ikuti langkah berikut ini.

- a. Mulai dari $\theta_{i0} = \theta_0$ dan $k_{i0} = 0$ (dimana $\Psi(k_{i0}) = 0,3989$, $\varphi(k_{i0}) = 0,3989$ dan $\Phi(k_{i0}) = 0,5$).
- b. Substitusi θ_{i0} dan $\Psi(k_{i0})$ kemudian hitung Q_{i0} pada Persamaan (3.9).
- c. Cek dan bandingkan beban muatan aktual ($W_y = Q_w$) dengan kapasitas truk, jika ($W_y > W_x$) maka revisi lot pemesanan menjadi ($Q_{i0} = \frac{W_x}{w}$), sedangkan sebaliknya langsung ke langkah selanjutnya.
- d. Gunakan Q_{i0} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{i1})$ pada Persamaan (3.11) dan θ_{i1} pada Persamaan (3.17).
- e. Tentukan k_{i1} dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.
- f. Ulangi langkah kedua point (b) sampai point (e), hingga nilai Q_i, k_i dan θ_i tidak mengalami perubahan.
- g. Bandingkan probabilitas status *out-of-control*.
 - i) Jika $\theta_{i1} < \theta_{i0}$ maka $\theta_{i1} = \theta_{i1}$ dan
 - ii) Jika $\theta_{i1} \geq \theta_{i0}$ maka $\theta_{i1} = \theta_{i0}$.

h. Hitung $JTEC_1$ pada Persamaan (3.3).

Langkah ketiga : Tentukan nilai $\min_{i=0,1,\dots,j}$ dari $JTEC_1(Q^*, k^*, L, m, \theta^*)$.

Kemudian apabila $JTEC_1(Q^*_{(m)}, k^*_{(m)}, L_{(m)}, m, \theta^*_{(m)}) = \min_{i=0,1,\dots,j}$ dari $JTEC_1(Q^*, k^*, L, m, \theta^*)$ maka $(Q^*_{(m)}, k^*_{(m)}, L_{(m)}, \theta^*_{(m)})$ adalah solusi optimal untuk m yang tetap.

Langkah keempat : Lanjutkan $m = m + 1$ dan ulangi langkah kedua dan ketiga.

Langkah kelima : Lakukan perbandingan $JTEC_1$ dengan cara yaitu

$JTEC_1(Q^*_{(m)}, k^*_{(m)}, L_{(m)}, m, \theta^*_{(m)}) \leq JTEC_1(Q^*_{(m-1)}, k^*_{(m-1)}, L_{(m-1)}, m-1, \theta^*_{(m-1)})$ maka ke langkah empat. Jika sebaliknya, maka lanjutnya ke langkah keenam.

Langkah keenam : Kemudian diperoleh solusi optimal $(Q^*_{(m-1)}, k^*_{(m-1)}, L_{(m-1)}, m-1, \theta^*_{(m-1)})$.

3.8.2 Model II: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas, dan Backorder Price Discount (BPD)

Berikut adalah prosedur untuk mencari solusi pada Model II adalah sebagai berikut:

Langkah pertama : Tentukan $m = 1$.

Langkah kedua : Untuk tiap L_i , untuk $i = 0, 1, \dots, j$, ikuti langkah berikut ini.

- Mulai dari $\theta_{i0} = \theta_0$, $\pi_{xi0} = \pi_0$ dan $k_{i0} = 0$ (dimana $\Psi(k_{i0}) = 0,3989$, $\varphi(k_{i0}) = 0,3989$ dan $\Phi(k_{i0}) = 0,5$).
- Substitusi θ_{i0} , π_{xi0} dan $\Psi(k_{i0})$ kemudian hitung Q_{i0} pada Persamaan (3.19).
- Cek dan bandingkan beban muatan aktual ($W_y = Qw$) dengan kapasitas truk, jika ($W_y > W_x$) maka revisi lot pemesanan menjadi ($Q_{i0} = \frac{W_x}{w}$), sedangkan sebaliknya langsung ke langkah selanjutnya.

- d. Gunakan Q_{i0} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{i1})$ pada Persamaan (3.21), θ_{i1} pada Persamaan (3.27) dan π_{xi1} pada Persamaan (3.29).
- e. Tentukan k_{i1} dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.
- f. Ulangi langkah kedua point (b) sampai point (e), hingga nilai Q_i, k_i, θ_i dan π_{xi} tidak mengalami perubahan.
- g. Bandingkan probabilitas status *out-of-control* dan *backorder price*.
 - i) Jika $\theta_{i1} < \theta_{i0}$ dan $\pi_{xi1} < \pi_{xi0}$ maka $\theta_{i1} = \theta_{i1}$ dan $\pi_{xi1} = \pi_{xi1}$;
 - ii) Jika $\theta_{i1} \geq \theta_{i0}$ dan $\pi_{xi1} < \pi_{xi0}$ maka $\theta_{i1} = \theta_{i0}$ dan $\pi_{xi1} = \pi_{xi1}$;
 - iii) Jika $\theta_{i1} < \theta_{i0}$ dan $\pi_{xi1} \geq \pi_{xi0}$ maka $\theta_{i1} = \theta_{i1}$ dan $\pi_{xi1} = \pi_{xi0}$;
 - iv) Jika $\theta_{i1} \geq \theta_{i0}$ dan $\pi_{xi1} \geq \pi_{xi0}$ maka $\theta_{i1} = \theta_{i0}$ dan $\pi_{xi1} = \pi_{xi0}$.
- h. Hitung $JTEC_2$ pada Persamaan (3.5).

Langkah ketiga : Tentukan nilai $\min_{i=0,1,\dots,j}$ dari $JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)$.

Kemudian apabila $JTEC_2(Q^*_{(m)}, k^*_{(m)}, L_{(m)}, m, \theta^*_{(m)}, \pi_x^*_{(m)}) = \min_{i=0,1,\dots,j}$ dari $JTEC_2(Q^*, k^*, L, m, \theta^*, \pi_x^*)$ maka $(Q^*_{(m)}, k^*_{(m)}, L_{(m)}, \theta^*_{(m)}, \pi_x^*_{(m)})$ adalah solusi optimal untuk m yang tetap.

Langkah keempat : Lanjutkan $m = m + 1$ dan ulangi langkah kedua dan ketiga.

Langkah kelima : Lakukan perbandingan $JTEC_2$ dengan cara yaitu

$$JTEC_2(Q^*_{(m)}, k^*_{(m)}, L_{(m)}, m, \theta^*_{(m)}, \pi_x^*_{(m)}) \leq JTEC_2(Q^*_{(m-1)}, k^*_{(m-1)}, L_{(m-1)}, m-1, \theta^*_{(m-1)}, \pi_x^*_{(m-1)}) \text{ maka}$$

ke langkah empat. Jika sebaliknya, maka lanjutnya ke langkah keenam.

Langkah keenam : Kemudian diperoleh solusi optimal $(Q^*_{(m-1)}, k^*_{(m-1)}, L_{(m-1)}, m - 1, \theta^*_{(m-1)}, \pi_{x^*_{(m-1)}})$.

3.8.3 Model III: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas, *Backorder Price Discount* (BPD), dan Penurunan Biaya *Setup* dan Biaya Pesan

Berikut adalah prosedur untuk mencari solusi pada Model III adalah sebagai berikut:

Langkah pertama : Tentukan $m = 1$.

Langkah kedua : Untuk tiap L_i , untuk $i = 0, 1, \dots, j$, ikuti langkah berikut ini.

- Mulai dari $\theta_{i0} = \theta_0$, $\pi_{xi0} = \pi_0$, $A_{i0} = A_0$, $S_{i0} = S_0$ dan $k_{i0} = 0$ (dimana $\Psi(k_{i0}) = 0,3989$, $\phi(k_{i0}) = 0,3989$ dan $\Phi(k_{i0}) = 0,5$).
- Substitusi θ_{i0} , π_{xi0} , A_{i0} , S_{i0} dan $\Psi(k_{i0})$ kemudian hitung Q_{i0} pada Persamaan (3.31).
- Cek dan bandingkan beban muatan aktual ($W_y = Qw$) dengan kapasitas truk, jika ($W_y > W_x$) maka revisi lot pemesanan menjadi ($Q_{i0} = \frac{W_x}{w}$), sedangkan sebaliknya langsung ke langkah selanjutnya.
- Gunakan Q_{i0} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{i1})$ pada Persamaan (3.33), θ_{i1} pada Persamaan (3.39), π_{xi1} pada Persamaan (3.41), S_{i1} pada Persamaan (3.43) dan A_{i1} pada Persamaan (3.45).
- Tentukan k_{i1} dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.
- Ulangi langkah kedua point (b) sampai point (e), hingga nilai $Q_i, k_i, \theta_i, \pi_{xi}, A_i$ dan S_i tidak mengalami perubahan.

g. Bandingkan probabilitas status *out-of-control* dan *backorder price*.

- i) Jika $\theta_{i1} < \theta_{i0}; \pi_{xi1} < \pi_{xi0}; A_{i1} < A_{i0}; S_{i1} < S_{i0}$ maka
 $\theta_{i1} = \theta_{i1}; \pi_{xi1} = \pi_{xi1}; A_{i1} = A_{i1}; S_{i1} = S_{i1}.$
- ii) Jika $\theta_{i1} \geq \theta_{i0}; \pi_{xi1} < \pi_{xi0}; A_{i1} < A_{i0}; S_{i1} < S_{i0}$ maka
 $\theta_{i1} = \theta_{i0}; \pi_{xi1} = \pi_{xi1}; A_{i1} = A_{i1}; S_{i1} = S_{i1}.$
- iii) Jika $\theta_{i1} < \theta_{i0}; \pi_{xi1} \geq \pi_{xi0}; A_{i1} < A_{i0}; S_{i1} < S_{i0}$ maka
 $\theta_{i1} = \theta_{i1}; \pi_{xi1} = \pi_{xi0}; A_{i1} = A_{i1}; S_{i1} = S_{i1}.$
- iv) Jika $\theta_{i1} < \theta_{i0}; \pi_{xi1} < \pi_{xi0}; A_{i1} \geq A_{i0}; S_{i1} < S_{i0}$ maka
 $\theta_{i1} = \theta_{i1}; \pi_{xi1} = \pi_{xi1}; A_{i1} = A_{i0}; S_{i1} = S_{i1}.$
- v) Jika $\theta_{i1} < \theta_{i0}; \pi_{xi1} < \pi_{xi0}; A_{i1} < A_{i0}; S_{i1} \geq S_{i0}$ maka
 $\theta_{i1} = \theta_{i1}; \pi_{xi1} = \pi_{xi1}; A_{i1} = A_{i1}; S_{i1} = S_{i0}.$
- vi) Jika $\theta_{i1} \geq \theta_{i0}; \pi_{xi1} \geq \pi_{xi0}; A_{i1} < A_{i0}; S_{i1} < S_{i0}$ maka
 $\theta_{i1} = \theta_{i0}; \pi_{xi1} = \pi_{xi0}; A_{i1} = A_{i1}; S_{i1} = S_{i1}.$
- vii) Jika $\theta_{i1} \geq \theta_{i0}; \pi_{xi1} < \pi_{xi0}; A_{i1} \geq A_{i0}; S_{i1} < S_{i0}$ maka
 $\theta_{i1} = \theta_{i1}; \pi_{xi1} = \pi_{xi1}; A_{i1} = A_{i0}; S_{i1} = S_{i1}.$
- viii) Jika $\theta_{i1} \geq \theta_{i0}; \pi_{xi1} < \pi_{xi0}; A_{i1} < A_{i0}; S_{i1} \geq S_{i0}$
 maka $\theta_{i1} = \theta_{i0}; \pi_{xi1} = \pi_{xi1}; A_{i1} = A_{i1}; S_{i1} = S_{i0}.$
- ix) Jika $\theta_{i1} < \theta_{i0}; \pi_{xi1} \geq \pi_{xi0}; A_{i1} \geq A_{i0}; S_{i1} < S_{i0}$ maka
 $\theta_{i1} = \theta_{i1}; \pi_{xi1} = \pi_{xi0}; A_{i1} = A_{i0}; S_{i1} = S_{i1}.$
- x) Jika $\theta_{i1} < \theta_{i0}; \pi_{xi1} \geq \pi_{xi0}; A_{i1} < A_{i0}; S_{i1} \geq S_{i0}$ maka
 $\theta_{i1} = \theta_{i1}; \pi_{xi1} = \pi_{xi0}; A_{i1} = A_{i1}; S_{i1} = S_{i0}.$
- xi) Jika $\theta_{i1} < \theta_{i0}; \pi_{xi1} < \pi_{xi0}; A_{i1} \geq A_{i0}; S_{i1} \geq S_{i0}$ maka
 $\theta_{i1} = \theta_{i1}; \pi_{xi1} = \pi_{xi1}; A_{i1} = A_{i0}; S_{i1} = S_{i0}.$
- xii) Jika $\theta_{i1} \geq \theta_{i0}; \pi_{xi1} \geq \pi_{xi0}; A_{i1} \geq A_{i0}; S_{i1} < S_{i0}$ maka
 $\theta_{i1} = \theta_{i0}; \pi_{xi1} = \pi_{xi0}; A_{i1} = A_{i0}; S_{i1} = S_{i1}.$
- xiii) Jika $\theta_{i1} \geq \theta_{i0}; \pi_{xi1} \geq \pi_{xi0}; A_{i1} < A_{i0}; S_{i1} \geq S_{i0}$
 maka $\theta_{i1} = \theta_{i0}; \pi_{xi1} = \pi_{xi0}; A_{i1} = A_{i1}; S_{i1} = S_{i0}.$

xiv) Jika $\theta_{i1} \geq \theta_{i0}; \pi_{xi1} < \pi_{xi0}; A_{i1} \geq A_{i0}; S_{i1} \geq S_{i0}$

maka $\theta_{i1} = \theta_{i0}; \pi_{xi1} = \pi_{xi0}; A_{i1} = A_{i0}; S_{i1} = S_{i0}$.

xv) Jika $\theta_{i1} < \theta_{i0}; \pi_{xi1} \geq \pi_{xi0}; A_{i1} \geq A_{i0}; S_{i1} \geq S_{i0}$ maka

$\theta_{i1} = \theta_{i0}; \pi_{xi1} = \pi_{xi0}; A_{i1} = A_{i0}; S_{i1} = S_{i0}$.

xvi) Jika $\theta_{i1} \geq \theta_{i0}; \pi_{xi1} \geq \pi_{xi0}; A_{i1} \geq A_{i0}; S_{i1} \geq S_{i0}$

maka $\theta_{i1} = \theta_{i0}; \pi_{xi1} = \pi_{xi0}; A_{i1} = A_{i0}; S_{i1} = S_{i0}$.

h. Hitung $JTEC_3$ pada persamaan (3.8).

Langkah ketiga : Tentukan nilai $\min_{i=0,1,\dots,j}$ dari $JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, A, S)$.

Kemudian apabila

$$JTEC_3(Q^*_{(m)}, k^*_{(m)}, L_{(m)}, m, \theta^*_{(m)}, \pi_x^*_{(m)}, A^*_{(m)}, S^*_{(m)}) =$$

$\min_{i=0,1,\dots,j}$ dari $JTEC_3(Q^*, k^*, L, m, \theta^*, \pi_x^*, A^*, S^*)$ maka

$(Q^*_{(m)}, k^*_{(m)}, L_{(m)}, \theta^*_{(m)}, \pi_x^*_{(m)}, A^*_{(m)}, S^*_{(m)})$ adalah solusi

optimal untuk m yang tetap.

Langkah keempat : Lanjutkan $m = m + 1$ dan ulangi langkah kedua dan ketiga.

Langkah kelima : Lakukan perbandingan $JTEC_2$ dengan cara yaitu

$$JTEC_3(Q^*_{(m)}, k^*_{(m)}, L_{(m)}, \theta^*_{(m)}, \pi_x^*_{(m)}, A^*_{(m)}, S^*_{(m)}) \leq$$

$$JTEC_3(Q^*_{(m-1)}, k^*_{(m-1)}, L_{(m-1)}, m -$$

$$1, \theta^*_{(m-1)}, \pi_x^*_{(m-1)}, A^*_{(m-1)}, S^*_{(m-1)}) \text{ maka ke langkah empat.}$$

Jika sebaliknya, maka lanjutnya ke langkah keenam.

Langkah keenam : Kemudian diperoleh solusi optimal $(Q^*_{(m-1)}, k^*_{(m-1)}, L_{(m-1)}, m -$

$$1, \theta^*_{(m-1)}, \pi_x^*_{(m-1)}, A^*_{(m-1)}, S^*_{(m-1)}).$$

3.9 Verifikasi Model

Verifikasi model digunakan untuk memeriksa bahwa model yang diusulkan telah benar.

Verifikasi dalam penelitian ini adalah menyesuaikan dengan dimensi satuan:

3.9.1 Model I: Proses Produksi Tidak Sempurna dan Perbaikan Kualitas

1. Total Biaya Gabungan

$$\begin{aligned}
 JTEC_1(Q, k, L, m, \theta) &= \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\
 &+ \frac{Q}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} + h_b [k\sigma\sqrt{L} + (1 - \beta)\sigma\sqrt{L}\Psi(k)] \\
 &+ D(1 - \alpha)F_x W(2d_v + d_b) + tn \ln \left(\frac{\theta_0}{\theta} \right) \\
 &= \frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}} \left\{ Rp + Rp + Rp + Rp + \left[\frac{Rp}{\text{unit}} + \frac{Rp}{\text{unit}} \right] \frac{\text{unit}}{\text{hari}} \text{hari} + \left[\frac{Rp/\text{kg}}{\text{km}} \text{kg} + \frac{Rp \text{ liter}}{\text{liter km}} \right] \text{km} \right\} \\
 &+ \text{unit} \left\{ \frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{\%}{\text{unit}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} \left[\frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} + \frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} \right] \right\} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} \left[\frac{\text{unit}}{\text{hari}} \text{hari} + \frac{\text{unit}}{\text{hari}} \text{hari} \right] \\
 &+ \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{Rp/\text{kg}}{\text{km}} \times \frac{\text{kg}}{\text{unit}} \text{km} + \frac{Rp \times \text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{\%}{\text{unit}} \left(\frac{\%/\text{unit}}{\%/\text{unit}} \right) \\
 &= \frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}} \left\{ Rp + Rp + Rp + Rp + \left[\frac{Rp}{\text{unit}} + \frac{Rp}{\text{unit}} \right] \frac{\text{unit}}{\text{hari}} \text{hari} + \left[\frac{Rp/\text{kg}}{\text{km}} \text{kg} + \frac{Rp \text{ liter}}{\text{liter km}} \right] \text{km} \right\} \\
 &+ \text{unit} \left\{ \frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{\%}{\text{unit}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} \left[\frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} + \frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} \right] \right\} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} \left[\frac{\text{unit}}{\text{hari}} \text{hari} + \frac{\text{unit}}{\text{hari}} \text{hari} \right] \\
 &+ \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{Rp/\text{kg}}{\text{km}} \times \frac{\text{kg}}{\text{unit}} \text{km} + \frac{Rp}{\text{tahun}} \left(\frac{\%/\text{unit}}{\%/\text{unit}} \right) \\
 &= \frac{Rp}{\text{tahun}} + \frac{Rp}{\text{tahun}} + \frac{Rp}{\text{tahun}} + \frac{Rp}{\text{tahun}} + \frac{Rp}{\text{tahun}} = \frac{Rp}{\text{tahun}}
 \end{aligned}$$

2. Ukuran Lot Pemesanan Optimal (Q*)

$$\begin{aligned}
 Q^* &= \sqrt{\frac{2D \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\}}{gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right]}} \\
 Q^* &= \sqrt{\frac{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \left\{ Rp + Rp + Rp + Rp + \left[\frac{Rp}{\text{unit}} + \frac{Rp}{\text{unit}} \right] \frac{\text{unit}}{\text{hari}} \text{hari} + \left[\frac{Rp/\text{kg}}{\text{km}} \text{kg} + \frac{Rp \text{ liter}}{\text{liter km}} \right] \text{km} \right\}}{\frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{\%}{\text{unit}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} \left[\frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} + \frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} \right]}}
 \end{aligned}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \left\{ Rp + Rp + Rp + Rp + \left[\frac{Rp}{\text{unit}} + \frac{Rp}{\text{unit}} \right] \frac{\text{unit}}{\text{hari}} \text{hari} + \left[\frac{Rp/\text{kg}}{\text{km}} \text{kg} + \frac{Rp \text{ liter}}{\text{liter km}} \right] \text{km} \right\}}{\frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{\%}{\text{unit}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} \left[\frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} + \frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} \right]}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{\frac{Rp \times \text{unit}}{\text{tahun}}}{\frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}}}}$$

$$Q^* = \sqrt{\text{unit}^2} = \text{unit}$$

3. Faktor Pengaman Persediaan Optimal (k^*)

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{Q h_b}{D[\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] + Q h_b(1 - \beta)}$$

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \left[\frac{Rp}{\text{unit}} + \frac{Rp}{\text{unit}} \right] + \text{unit} \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}}}{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \left[\frac{Rp}{\text{unit}} + \frac{Rp}{\text{unit}} \right] + \text{unit} \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}}}$$

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \left[\frac{Rp}{\text{unit}} + \frac{Rp}{\text{unit}} \right] + \text{unit} \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}}}{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \left[\frac{Rp}{\text{unit}} + \frac{Rp}{\text{unit}} \right] + \text{unit} \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}}}$$

$$\Phi(k^*) = \text{tanpa satuan}$$

4. Jumlah Pengiriman Optimal (m^*)

$$m^* = \frac{1}{Q} \sqrt{\frac{2SD}{gD\theta + h_v \left(1 - \frac{D}{P}\right)}}$$

$$m^* = \frac{1}{\text{unit}} \sqrt{\frac{Rp \frac{\text{unit}}{\text{tahun}}}{\frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{\%}{\text{unit}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} \left(1 - \frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}}\right)}}$$

$$m^* = \frac{1}{\text{unit}} \sqrt{\frac{Rp \frac{\text{unit}}{\text{tahun}}}{\frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}}}}$$

$$m^* = \frac{1}{\text{unit}} \sqrt{\text{unit}^2} = \text{tanpa satuan}$$

5. Probabilitas Status Out-of-control Optimal (θ^*)

$$\theta^* = \frac{2tn}{gmDQ}$$

$$\theta^* = \frac{\frac{Rp \times unit}{tahun} \times \frac{\%}{unit}}{\frac{Rp}{unit} \times \frac{unit}{tahun} \times unit}$$

$$\theta^* = \frac{\frac{Rp \times unit}{tahun} \times \frac{\%}{unit}}{\frac{Rp}{unit} \times \frac{unit}{tahun} \times unit}$$

$$\theta^* = \frac{\%}{unit}$$

3.9.2 Model II: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas, dan Backorder Price Discount (BPD)

1. Total Biaya Gabungan

$$JTEC_2(Q, k, L, m, \theta, \pi_x)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\ &+ \frac{Q}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] + h_b \left[k\sigma\sqrt{L} + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \sigma \sqrt{L} \Psi(k) \right] \right. \\ &\left. + D(1 - \alpha) F_x W(2d_v + d_b) + tn \cdot \ln \left(\frac{\theta_0}{\theta} \right) \right\} \\ &= \frac{unit/tahun}{unit} \left\{ Rp + Rp + Rp + Rp + \left[\frac{Rp/unit}{Rp/unit} + \frac{Rp}{unit} - \frac{Rp}{unit} \right] \frac{unit}{hari} \text{ hari} + \left[\frac{Rp/kg}{km} kg + \frac{Rp}{liter} \frac{liter}{km} \right] km \right\} \\ &+ unit \left\{ \frac{Rp}{unit} \times \frac{unit}{tahun} \times \frac{\%}{unit} + \frac{Rp/unit}{tahun} + \frac{Rp/unit}{tahun} \left[\frac{unit/tahun}{unit/tahun} + \frac{unit/tahun}{unit/tahun} \right] \right\} \\ &+ \frac{Rp/unit}{tahun} \left[\frac{unit}{hari} \text{ hari} + \left(\frac{Rp/unit}{Rp/unit} \right) \frac{unit}{hari} \text{ hari} \right] + \frac{unit}{tahun} \times \frac{Rp/kg}{km} \times \frac{kg}{unit} km + \frac{Rp \times unit}{tahun} \times \frac{\%}{unit} \left(\frac{\%/unit}{\%/unit} \right) \\ &= \frac{unit/tahun}{unit} \left\{ Rp + Rp + Rp + Rp + \left[\frac{Rp/unit}{Rp/unit} + \frac{Rp}{unit} - \frac{Rp}{unit} \right] \frac{unit}{hari} \text{ hari} + \left[\frac{Rp/kg}{km} kg + \frac{Rp}{liter} \frac{liter}{km} \right] km \right\} \\ &+ unit \left\{ \frac{Rp}{unit} \times \frac{unit}{tahun} \times \frac{\%}{unit} + \frac{Rp/unit}{tahun} + \frac{Rp/unit}{tahun} \left[\frac{unit/tahun}{unit/tahun} + \frac{unit/tahun}{unit/tahun} \right] \right\} \\ &+ \frac{Rp/unit}{tahun} \left[\frac{unit}{hari} \text{ hari} + \left(\frac{Rp/unit}{Rp/unit} \right) \frac{unit}{hari} \text{ hari} \right] + \frac{unit}{tahun} \times \frac{Rp/kg}{km} \times \frac{kg}{unit} km + \frac{Rp}{tahun} \left(\frac{\%/unit}{\%/unit} \right) \end{aligned}$$

$$= \frac{Rp}{tahun} + \frac{Rp}{tahun} + \frac{Rp}{tahun} + \frac{Rp}{tahun} + \frac{Rp}{tahun} = \frac{Rp}{tahun}$$

2. Ukuran Lot Pemesanan Optimal (Q^*)

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta)\gamma](2d_v + d_b) \right\}}{gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right]}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \left\{ Rp + Rp + Rp + Rp + \left[\frac{Rp^2}{\frac{\text{unit}}{Rp}} + \frac{Rp}{\text{unit}} - \frac{Rp}{\text{unit}} \right] \frac{\text{unit}}{\text{hari}} \text{hari} + \left[\frac{Rp/\text{kg}}{\text{km}} \text{kg} + \frac{Rp \text{ liter}}{\text{liter km}} \right] \text{km} \right\}}{\frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{\%}{\text{unit}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} \left[\frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} + \frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} \right]}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \left\{ Rp + Rp + Rp + Rp + \left[\frac{Rp^2}{\frac{\text{unit}}{Rp}} + \frac{Rp}{\text{unit}} - \frac{Rp}{\text{unit}} \right] \frac{\text{unit}}{\text{hari}} \text{hari} + \left[\frac{Rp/\text{kg}}{\text{km}} \text{kg} + \frac{Rp \text{ liter}}{\text{liter km}} \right] \text{km} \right\}}{\frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{\%}{\text{unit}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} \left[\frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} + \frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} \right]}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{\frac{Rp \times \text{unit}}{\text{tahun}}}{\frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}}}}$$

$$Q^* = \sqrt{\text{unit}^2} = \text{unit}$$

3. Faktor Pengaman Persediaan Optimal (k^*)

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{Qh_b}{D \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] + Qh_b \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right)}$$

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}}}{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \left[\left(\frac{Rp}{\text{unit}} \right)^2 + \frac{Rp}{\text{unit}} - \frac{Rp}{\text{unit}} \right] + \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} \left(1 - \frac{Rp}{\text{unit}} \right)}$$

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}}}{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \left[\left(\frac{Rp}{\text{unit}} \right)^2 + \frac{Rp}{\text{unit}} - \frac{Rp}{\text{unit}} \right] + \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} \left(1 - \frac{Rp}{\text{unit}} \right)}$$

$$\Phi(k^*) = \text{tanpa satuan}$$

4. Jumlah Pengiriman Optimal (m^*)

$$m^* = \sqrt{\frac{2SD}{Q^2 \left\{ gD\theta + h_v \left(1 - \frac{D}{P} \right) \right\}}} =$$

$$m^* = \sqrt{\frac{Rp \frac{\text{unit}}{\text{tahun}}}{\text{unit}^2 \left\{ \frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \frac{\%}{\text{unit}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} \left(1 - \frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} \right) \right\}}}$$

$$m^* = \sqrt{\frac{1}{\text{unit}^2} \times \frac{Rp \frac{\text{unit}}{\text{tahun}}}{\left\{ \frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \frac{\%}{\text{unit}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} \left(1 - \frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} \right) \right\}}}$$

$$m^* = \sqrt{\frac{1}{\text{unit}^2} \times \frac{Rp \frac{\text{unit}}{\text{tahun}}}{\frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \frac{\%}{\text{unit}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} \left(1 - \frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} \right)}}$$

$$m^* = \sqrt{\frac{1}{\text{unit}^2} \times \frac{Rp \frac{\text{unit}}{\text{tahun}}}{\frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}}}}$$

$$m^* = \sqrt{\frac{1}{\text{unit}^2} \times \frac{\frac{\text{unit}}{\text{unit}}}{\frac{\text{unit}}{\text{unit}} + \frac{\text{unit}}{\text{unit}}}}$$

$$m^* = \sqrt{\frac{1}{\text{unit}^2} \times \text{unit}^2} = \text{tanpa satuan}$$

5. Probabilitas Status Out-of-control Optimal (θ^*)

$$\theta^* = \frac{2tn}{gmDQ}$$

$$\theta^* = \frac{\frac{Rp \times \text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{\%}{\text{unit}}}{\frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \times \text{unit}}$$

$$\theta^* = \frac{\frac{Rp \times \text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{\%}{\text{unit}}}{\frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \times \text{unit}} = \frac{\%}{\text{unit}}$$

6. Backorder Price Optimal (π_x^*)

$$\pi_x^* = \frac{\pi_0}{2} + \frac{h_b Q}{2D}$$

$$\pi_x^* = \frac{Rp}{unit} + \frac{\frac{Rp/unit}{tahun} unit}{\frac{unit}{tahun}}$$

$$\pi_x^* = \frac{Rp}{unit} + \frac{\frac{Rp/unit}{tahun} unit}{\frac{unit}{tahun}}$$

$$\pi_x^* = \frac{Rp}{unit}$$

3.9.3 Model III: Proses Produksi Tidak Sempurna, Perbaikan Kualitas, Backorder Price Discount (BPD), dan Penurunan Biaya Setup dan Biaya Pesan

1. Total Biaya Gabungan

$$\begin{aligned} JTEC_3(Q, k, L, m, \theta, \pi_x, S, A) &= \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\ &+ \frac{Q}{2} \left\{ gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] \right\} + h_b \left[k\sigma\sqrt{L} + \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \sigma \sqrt{L} \Psi(k) \right] \\ &+ D(1 - \alpha) F_x W (2d_v + d_b) + t \left[n \ln \left(\frac{\theta_0}{\theta} \right) + b \ln \left(\frac{S_0}{S} \right) + a \ln \left(\frac{A_0}{A} \right) \right] \\ &= \frac{unit/tahun}{unit} \left\{ Rp + Rp + Rp + Rp + \left[\frac{Rp/unit}{Rp/unit} + \frac{Rp}{unit} - \frac{Rp}{unit} \right] \frac{unit}{hari} hari + \left[\frac{Rp/kg}{km} kg + \frac{Rp}{liter} \frac{liter}{km} \right] km \right\} \\ &+ unit \left\{ \frac{Rp}{unit} \times \frac{unit}{tahun} \times \frac{\%}{unit} + \frac{Rp/unit}{tahun} + \frac{Rp/unit}{tahun} \left[\frac{unit/tahun}{unit/tahun} + \frac{unit/tahun}{unit/tahun} \right] \right\} \\ &+ \frac{Rp/unit}{tahun} \left[\frac{unit}{hari} hari + \left(\frac{Rp/unit}{Rp/unit} \right) \frac{unit}{hari} hari \right] + \frac{unit}{tahun} \times \frac{Rp/kg}{km} \times \frac{kg}{unit} km + \frac{Rp \times unit}{tahun} \times \frac{\%}{unit} \left[\frac{\%/unit}{\%/unit} + \frac{Rp}{Rp} + \frac{Rp}{Rp} \right] \\ &= \frac{unit/tahun}{unit} \left\{ Rp + Rp + Rp + Rp + \left[\frac{Rp/unit}{Rp/unit} + \frac{Rp}{unit} - \frac{Rp}{unit} \right] \frac{unit}{hari} hari + \left[\frac{Rp/kg}{km} kg + \frac{Rp}{liter} \frac{liter}{km} \right] km \right\} \\ &+ unit \left\{ \frac{Rp}{unit} \times \frac{unit}{tahun} \times \frac{\%}{unit} + \frac{Rp/unit}{tahun} + \frac{Rp/unit}{tahun} \left[\frac{unit/tahun}{unit/tahun} + \frac{unit/tahun}{unit/tahun} \right] \right\} \\ &+ \frac{Rp/unit}{tahun} \left[\frac{unit}{hari} hari + \left(\frac{Rp/unit}{Rp/unit} \right) \frac{unit}{hari} hari \right] + \frac{unit}{tahun} \times \frac{Rp/kg}{km} \times \frac{kg}{unit} km + \frac{Rp}{tahun} \left[\frac{\%/unit}{\%/unit} + \frac{Rp}{Rp} + \frac{Rp}{Rp} \right] \end{aligned}$$

$$= \frac{Rp}{tahun} + \frac{Rp}{tahun} + \frac{Rp}{tahun} + \frac{Rp}{tahun} + \frac{Rp}{tahun} = \frac{Rp}{tahun}$$

2. Ukuran Lot Pemesanan Optimal (Q*)

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\}}{gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right]}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{\frac{unit}{tahun} \left\{ Rp + Rp + Rp + Rp + \left[\frac{\left(\frac{Rp}{unit} \right)^2}{\frac{Rp}{unit}} + \frac{Rp}{unit} - \frac{Rp}{unit} \right] \frac{unit}{hari} \text{ hari} + \left[\frac{Rp/kg}{km} kg + \frac{Rp}{liter} \times \frac{liter}{km} \right] km \right\}}{\frac{Rp}{unit} \times \frac{unit}{tahun} \times \% + \frac{Rp/unit}{tahun} + \frac{Rp/unit}{tahun} \left[\frac{unit/tahun}{unit/tahun} - 1 + \frac{unit/tahun}{unit/tahun} \right]}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{\frac{unit}{tahun} \left\{ Rp + Rp + Rp + Rp + \left[\frac{\left(\frac{Rp}{unit} \right)^2}{\frac{Rp}{unit}} + \frac{Rp}{unit} - \frac{Rp}{unit} \right] \frac{unit}{hari} \text{ hari} + \left[\frac{Rp/kg}{km} kg + \frac{Rp}{liter} \times \frac{liter}{km} \right] km \right\}}{\frac{Rp}{unit} \times \frac{unit}{tahun} \times \% + \frac{Rp/unit}{tahun} + \frac{Rp/unit}{tahun} \left[\frac{unit/tahun}{unit/tahun} - 1 + \frac{unit/tahun}{unit/tahun} \right]}}$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{\frac{unit \times Rp}{tahun}}{\frac{Rp/unit}{tahun}}} = \frac{unit \times Rp}{tahun} \times \frac{tahun}{Rp/unit} = unit^2$$

$$Q^* = unit$$

3. Faktor Pengaman Persediaan Optimal (k*)

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{Qh_b}{D \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] + Qh_b \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right)}$$

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{unit \times \frac{Rp/unit}{tahun}}{\frac{unit}{tahun} \left[\frac{\left(\frac{Rp}{unit} \right)^2}{\frac{Rp}{unit}} + \frac{Rp}{unit} - \frac{Rp}{unit} \right] + unit \times \frac{Rp/unit}{tahun} \left(1 - \frac{\frac{Rp}{unit}}{\frac{Rp}{unit}} \right)}$$

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{unit \times \frac{Rp/unit}{tahun}}{\frac{unit}{tahun} \left[\frac{\left(\frac{Rp}{unit} \right)^2}{\frac{Rp}{unit}} + \frac{Rp}{unit} - \frac{Rp}{unit} \right] + unit \times \frac{Rp/unit}{tahun} \left(1 - \frac{\frac{Rp}{unit}}{\frac{Rp}{unit}} \right)}$$

$$\Phi(k^*) = \text{tanpa satuan}$$

4. Jumlah Pengiriman Optimal (m^*)

$$m^* = \sqrt{\frac{2SD}{Q^2 \left\{ gD\theta + h_v \left(1 - \frac{D}{P} \right) \right\}}}$$

$$m^* = \sqrt{\frac{Rp \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}}}{\text{unit}^2 \left\{ \frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{\%}{\text{unit}} + \frac{Rp/\text{unit}}{\text{tahun}} \left(1 - \frac{\text{unit}/\text{tahun}}{\text{unit}/\text{tahun}} \right) \right\}}}$$

$$m^* = \sqrt{\frac{Rp \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}}}{\text{unit}^2 \left\{ \frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{\%}{\text{unit}} + \frac{Rp}{\text{tahun}} \left(1 - \frac{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}}}{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}}} \right) \right\}}} = \frac{\text{unit}}{\text{unit}}$$

$m^* = \text{tanpa satuan}$

5. Probabilitas Status Out-of-control Optimal (θ^*)

$$\theta^* = \frac{2tn}{gmDQ}$$

$$\theta^* = \frac{\frac{Rp \times \text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{\%}{\text{unit}}}{\frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \times \text{unit}}$$

$$\theta^* = \frac{\frac{Rp \times \text{unit}}{\text{tahun}} \times \frac{\%}{\text{unit}}}{\frac{Rp}{\text{unit}} \times \frac{\text{unit}}{\text{tahun}} \times \text{unit}} = \frac{\%}{\text{unit}}$$

6. Backorder Price Optimal (π_x^*)

$$\pi_x^* = \frac{\pi_0}{2} + \frac{h_b Q}{2D}$$

$$\pi_x^* = \frac{Rp}{\text{unit}} + \frac{\frac{Rp \times \text{unit}}{\text{tahun}} \text{unit}}{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}}}$$

$$\pi_x^* = \frac{Rp}{\text{unit}} + \frac{\frac{Rp \times \text{unit}}{\text{tahun}} \text{unit}}{\frac{\text{unit}}{\text{tahun}}}$$

$$\pi_x^* = \frac{Rp}{unit}$$

7. Biaya Setup Optimal (S*)

$$S^* = \frac{tbmQ}{D}$$

$$S^* = \frac{\frac{Rp \times unit}{tahun} \times \frac{\%}{unit} \times unit}{\frac{unit}{tahun}}$$

$$S^* = \frac{\frac{Rp \times unit}{tahun} \times \frac{\%}{unit} \times unit}{\frac{unit}{tahun}}$$

$$S^* = Rp$$

8. Biaya Pesan Optimal (A*)

$$A^* = \frac{Qta}{D}$$

$$A^* = \frac{unit \times \frac{Rp \times unit}{tahun} \times \frac{\%}{unit}}{\frac{unit}{tahun}}$$

$$A^* = \frac{unit \times \frac{Rp \times unit}{tahun} \times \frac{\%}{unit}}{\frac{unit}{tahun}}$$

$$A^* = Rp$$

BAB IV

IMPLEMENTASI MODEL

Pada Bab ini menjelaskan model-model yang telah dibangun akan diaplikasikan kedalam kasus perusahaan. Data-data yang diperlukan berasal dari El-Rahma Batik, Titin Batik dan penyedia jasa logistik pihak ketiga. Pada bab ini terdiri dari 2 *subbab* yaitu pada *subbab* 4.1 merupakan *subbab* pengumpulan data sedangkan pada hasil pengolahan data berada pada *subbab* 4.2.

4.1 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini pengumpulan data seperti yang telah dijelaskan pada bab metode penelitian yaitu jenis dan sumber data yang diperoleh adalah berupa data sekunder. Data sekunder adalah data yang didapatkan secara tidak langsung melalui studi pustaka, literatur-literatur, majalah, katalog, dan sumber lainnya. Data penelitian ini diperoleh menggunakan data sekunder (penelitian sebelumnya) yaitu Wijanarko (2011) dan Estrelita (2013). Penelitian ini dikhususkan pada sistem produksi dan sistem persediaan pada perusahaan El-Rahma Batik dan Titin Batik.

4.1.1 Profil Perusahaan Pemasok

El-Rahma Batik adalah perusahaan kecil menengah yang memproduksi macam-macam kerajinan batik, baik batik tulis, batik cap, maupun batik sablon dengan bahan prima, primis, dobby cina dan sutera. Perusahaan berdiri dari tahun 1990. El-Rahma Batik berada di Jl. Urip Sumoharjo no 197, Pekalongan. Untuk membesarkan perusahaan, El-Rahma batik melakukan pengembangan-pengembangan, terutama pada peningkatan standar mesin, menjaga kualitas dan jadwal pengiriman pesanan. Agar produk yang dihasilkan benar-benar berkualitas, maka dalam melakukan proses produksinya perusahaan senantiasa menggunakan bahan baku yang berkualitas baik agar dapat memenuhi kepuasan pelanggan. Saat ini El-Rahma Batik melayani pesanan pakaian batik seperti: sarimbit, blus pria batik, blus wanita batik, dan lain-lain. Sampai saat ini El-Rahma Batik

melibatkan tenaga kerja sebanyak 50 orang yang terdiri dari tenaga staff dan tenaga terampil. El-Rahma Batik memiliki beberapa rekanan bisnis dalam memasarkan produksinya. Salah satu mitra kerja yang telah di jalin adalah dengan Titin Batik. Dalam penelitian ini akan memfokuskan pada multi produk: sarimbit batik, blues pria batik, dan blues wanita batik.

4.1.2 Tingkat Produksi Pemasok

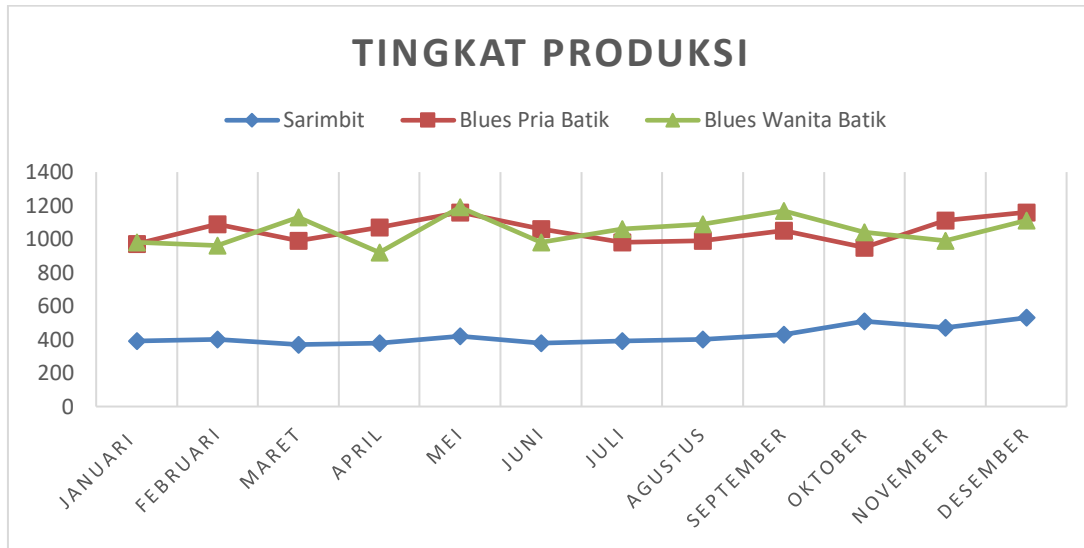
Dalam penelitian ini dilakukan analisis pada 3 jenis produk dari beberapa jenis produk pakaian batik yang diproduksi oleh El-Rahma Batik. Adapun ke-3 jenis tersebut adalah:

- a. Produk Sarimbit Batik
- b. Produk Blues Pria Batik
- c. Produk Blues Wanita Batik

Alasan dipilih ke-3 produk tersebut adalah permintaan pelanggan yang cukup tinggi dibandingkan produk yang lainnya. Berikut adalah data produksi untuk ke-3 jenis produk batik oleh perusahaan El-Rahma Batik dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1.

Tabel 4.1 Data Produksi Untuk Produk Sarimbit Batik, Blues Pria Batik dan Blues Wanita Batik

Periode	Sarimbit Batik	Blues Pria Batik	Blues Wanita Batik
Januari	390	970	980
Februari	400	1090	960
Maret	370	990	1130
April	380	1070	920
Mei	420	1160	1190
Juni	380	1060	980
Juli	390	980	1060
Agustus	400	990	1090
September	430	1050	1170
Oktober	510	950	1040
November	470	1110	990
Desember	530	1160	1110
Total	5.070	12.580	12.620



Gambar 4.1 Tingkat Produksi Produk Ketiga Jenis Produk

Adapun total produksi ketiga item tersebut adalah 30.270 unit, dengan produk serambit batik sebesar 5070 unit, blues pria batik sebesar 12.580 unit, dan blues wanita batik sebesar 12.620 unit. Sehingga proporsi untuk masing-masing produk yaitu:

$$\text{Sarimbit batik} = \frac{\text{total produksi sarimbit batik}}{\text{total produksi seluruhnya}} = \frac{5070 \text{ unit}}{30.270 \text{ unit}} = 0,1675 = 16,75 \%$$

$$\text{Blues pria batik} = \frac{\text{total produksi blues pria batik}}{\text{total produksi seluruhnya}} = \frac{12.580 \text{ unit}}{30.270 \text{ unit}} = 0,4156 = 41,56 \%$$

$$\text{Blues wanita batik} = \frac{\text{total produksi blues wanita batik}}{\text{total produksi seluruhnya}} = \frac{12.620 \text{ unit}}{30.270 \text{ unit}} = 0,4169 = 41,69 \%$$

4.1.3 Biaya Setup Pemasok

Biaya *setup* merupakan biaya yang dipersiapkan untuk sebuah mesin atau proses untuk membuat sebuah pesanan. Hal ini menyertakan waktu dan tenaga kerja untuk mengganti serta membersihkan peralatan produksi. Pada perusahaan El Rahma Batik terdapat 3 biaya yang terkait dengan biaya setup, yaitu biaya tenaga kerja, biaya penggunaan bahan bakar mesin, dan biaya persiapan lain-lain. Berikut adalah rincian perhitungan untuk biaya setup El Rahma Batik:

1. Biaya tenaga kerja

Adapun rincian yang terkait dalam biaya tenaga kerja sebagai berikut:

- Jumlah pekerja : 50 orang
- Upah orang per hari : Rp 35.000
- Jumlah hari kerja per tahun : 250 hari

Sehingga total biaya tenaga kerja adalah

$$= 50 \text{ orang} \times \frac{\text{Rp } 35.000/\text{org}}{\text{hari}} \times 250 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} = \text{Rp } 437.500.000/\text{tahun}$$

2. Biaya penggunaan bahan bakar mesin

Adapun rincian yang terkait dalam biaya bahan bakar mesin sebagai berikut:

- Jumlah penggunaan bensin per hari : 20 liter
- Harga BBM : Rp 10.000
- Jumlah hari kerja per tahun : 250 hari

Sehingga total biaya bahan bakar mesin adalah

$$= 20 \frac{\text{liter}}{\text{hari}} \times \frac{\text{Rp } 10.000}{\text{liter}} \times 250 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} = \text{Rp } 50.000.000/\text{tahun}$$

3. Biaya persiapan lain-lain

Adapun rincian yang terkait dalam biaya persiapan lain-lain sebagai berikut:

a. Pelapis lilin

- Penggunaan pelapis lilin per hari : Rp 15.000
- Jumlah hari kerja per tahun : 250 hari

Sehingga total biaya persiapan pelapis lilin adalah

$$= \frac{\text{Rp } 15.000}{\text{hari}} \times 250 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} = \text{Rp } 3.750.000/\text{tahun}$$

b. Pelapis warna

- Penggunaan pelapis warna per hari : Rp 25.000
- Jumlah hari kerja per tahun : 250 hari

Sehingga total biaya persiapan pelapis warna adalah

$$= \frac{\text{Rp } 25.000}{\text{hari}} \times 250 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} = \text{Rp } 6.250.000/\text{tahun}$$

Total biaya persiapan lain-lain adalah

$$= \text{Rp } 3.750.000/\text{tahun} + \text{Rp } 6.250.000/\text{tahun} = \text{Rp } 10.000.000/\text{tahun}$$

Total biaya *setup*

$$\begin{aligned} &= \text{Bi. tenaga kerja} + \text{Bi. penggunaan bensin mesin} + \text{Bi. persiapan lainnya} \\ &= \text{Rp } 437.500.000/\text{tahun} + \text{Rp } 50.000.000/\text{tahun} + \text{Rp } 10.000.000/\text{tahun} \\ &= \text{Rp } 497.500.000/\text{tahun} \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk menghitung biaya *setup* untuk tiap produk menggunakan metode proposional yang dihitung sebelumnya. Berikut adalah biaya *setup* untuk produk sarimbit batik, blues pria batik, blues wanita batik.

a. Biaya *setup* produk sarimbit batik

Biaya *setup* produk sarimbit batik meliputi:

- Waktu <i>setup</i>	: 180 menit/setup
- Jam kerja	: 6 jam/hari
- Jumlah hari kerja	: 250 hari/tahun
- Frekuensi <i>setup</i> per hari	: 1 kali <i>setup</i>
- Total biaya <i>setup</i>	: Rp 497.500.000/tahun

Sehingga biaya *setup* produk sarimbit batik per sekali *setup* adalah sebesar

$$\begin{aligned} &\frac{\text{Waktu setup/setup}}{\text{jam kerja per tahun}} \times \frac{\text{total biaya setup}}{\text{frekuensi setup/hari}} \\ &= \frac{180 \text{ menit/setup}}{60 \frac{\text{menit}}{\text{jam}} \times 6 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}} \times \frac{\text{Rp } 497.500.000/\text{tahun}}{1 \text{ setup} \times 250 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}} = \text{Rp } 995.000/\text{setup} \end{aligned}$$

b. Biaya *setup* produk blues pria batik

Biaya *setup* produk blues pria batik meliputi:

- Waktu <i>setup</i>	: 90 menit/setup
- Jam kerja	: 6 jam/hari
- Jumlah hari kerja	: 250 hari/tahun
- Frekuensi <i>setup</i> per hari	: 1 kali <i>setup</i>
- Total biaya <i>setup</i>	: Rp 497.500.000/tahun

Sehingga biaya *setup* produk blues pria batik per sekali *setup* adalah sebesar

$$\frac{\text{Waktu setup/setup}}{\text{jam kerja per tahun}} \times \frac{\text{total biaya setup}}{\text{frekuensi setup/hari}}$$

$$= \frac{90 \text{ menit/setup}}{60 \frac{\text{menit}}{\text{jam}} \times 6 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}} \times \frac{\text{Rp } 497.500.000/\text{tahun}}{1 \text{ setup} \times 250 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}} = \text{Rp } 497.500/\text{setup}$$

c. Biaya *setup* produk blues wanita batik

Biaya *setup* produk blues wanita batik meliputi:

- Waktu *setup* : 120 menit/setup
- Jam kerja : 6 jam/hari
- Jumlah hari kerja : 250 hari/tahun
- Frekuensi *setup* per hari : 1 kali *setup*
- Total biaya *setup* : Rp 497.500.000/tahun

Sehingga biaya *setup* produk blues wanita batik per sekali *setup* adalah sebesar

$$\frac{\text{Waktu setup/setup}}{\text{jam kerja per tahun}} \times \frac{\text{total biaya setup}}{\text{frekuensi setup/hari}}$$

$$= \frac{120 \text{ menit/setup}}{60 \frac{\text{menit}}{\text{jam}} \times 6 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}} \times \frac{\text{Rp } 497.500.000/\text{tahun}}{1 \text{ setup} \times 250 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}}} = \text{Rp } 663.333/\text{setup}$$

Adapun total biaya *setup* untuk ke 3 jenis produk per sekali *setup* adalah sebesar

$$= \text{Rp } 995.000 + \text{Rp } 497.500 + \text{Rp } 663.333 = \text{Rp } 2.155.833/\text{setup}$$

4.1.4 Biaya Simpan Pemasok

Biaya penyimpanan adalah semua biaya yang berhubungan dengan biaya penyimpanan persediaan bahan baku. Biaya – biaya penyimpanan antara lain: administrasi gudang, biaya listrik, biaya modal yang tertanam dalam persediaan, biaya kerusakan atau biaya kehilangan, biaya listrik dan gaji para pelaksana gudang. Biaya–biaya simpan dalam El-Rahma Batik diantaranya yaitu biaya listrik, biaya sewa dan pemeliharaan gudang, biaya keamanan, biaya bunga. Adapun rincian tiap biaya-biaya sebagai berikut:

1. Biaya listrik

- Rata-rata pengeluaran biaya listrik per bulan : Rp 2.500.000

- Jumlah bulan dalam setahun : 12 bulan

Total biaya listrik per tahun

$$= 12 \frac{\text{bulan}}{\text{tahun}} \times \frac{\text{Rp}2.500.000}{\text{bulan}} = \text{Rp}30.000.000/\text{tahun}$$

2. Biaya sewa dan pemeliharaan gudang

- Rata-rata biaya sewa & pemeliharaan gudang / bulan : Rp 10.500.000

- Jumlah bulan dalam setahun : 12 bulan

Total biaya sewa & pemeliharaan gudang per tahun

$$= 12 \frac{\text{bulan}}{\text{tahun}} \times \frac{\text{Rp}10.500.000}{\text{bulan}} = \text{Rp} 126.000.000/\text{tahun}$$

3. Biaya keamanan

- Jumlah satpam : 5 orang

- Jumlah bulan dalam setahun : 12 bulan

- Gaji satpam per bulan : Rp 1.950.000

Total biaya keamanan per tahun

$$= 5 \text{ org} \times 12 \frac{\text{bulan}}{\text{tahun}} \times \frac{\text{Rp}1.950.000}{\text{bulan}} = \text{Rp} 117.000.000/\text{tahun}$$

Berikut adalah perhitungan biaya produksi pada masing-masing produk yang terdiri dari penjumlahan biaya setup dan biaya simpan. Adapun perhitungan total biaya produksi untuk semua jenis produk seperti berikut ini:

- Biaya bahan pendukung per tahun : Rp 10.000.000

- Biaya tenaga kerja per tahun : Rp 437.500.000

- Biaya penggunaan bahan bakar mesin per tahun : Rp 50.000.000

- Biaya listrik, biaya keamanan per tahun : Rp 147.000.000

- Biaya sewa dan pemeliharaan gudang per tahun : Rp 126.000.000 +

Total biaya produksi per tahun : Rp 770.500.000

Sehingga biaya produksi untuk masing-masing produk adalah:

1. Biaya produksi Sarimbit Batik

Jumlah Serambit Batik yang diproduksi per tahun : 5.070 unit

Sehingga biaya produksi 1 produk Sarimbit Batik adalah

$$\frac{\text{Rp } 770.500.000}{5.070 \text{ unit}} = \text{Rp } 151.972/\text{unit}$$

2. Biaya produksi Blues Pria Batik

Jumlah Blues Pria Batik yang diproduksi per tahun : 12.580 unit

Sehingga biaya produksi 1 produk Blues Pria Batik adalah

$$\frac{\text{Rp } 770.500.000}{12.580 \text{ unit}} = \text{Rp } 61.248/\text{unit}$$

3. Biaya produksi Blues Wanita Batik

Jumlah Blues Wanita Batik diproduksi per tahun : 12.620 unit

Sehingga biaya produksi 1 produk Blues Wanita Batik adalah

$$\frac{\text{Rp } 770.500.000}{12.620 \text{ unit}} = \text{Rp } 61.054/\text{unit}$$

Untuk menghitung biaya simpan untuk tiap-tiap jenis produk dengan menggunakan bunga yang telah ditetapkan oleh perbankan per tahun sebesar 11,5%. Sehingga biaya simpan untuk produk sarimbit batik, blues pria batik, dan blues wanita batik:

Sarimbit batik = BI rate x biaya produksi sarimbit

$$= 11,5 \% \times \frac{\text{Rp } 151.972}{\text{unit}} = \text{Rp } 17.477/\text{unit}/\text{tahun}$$

Blues pria batik = BI rate x biaya produksi blues pria batik

$$= 11,5 \% \times \frac{\text{Rp } 61.248}{\text{unit}} = \text{Rp } 7.044/\text{unit}/\text{tahun}$$

Blues wanita batik = BI rate x biaya produksi blues wanita batik

$$= 11,5 \% \times \frac{\text{Rp } 61.054}{\text{unit}} = \text{Rp } 7.021/\text{unit}/\text{tahun}$$

4.1.5 Tingkat Kerusakan Produksi dan Biaya Pengerjaan Ulang (*Rework*)

4.1.5.1 Tingkat Kerusakan Produksi

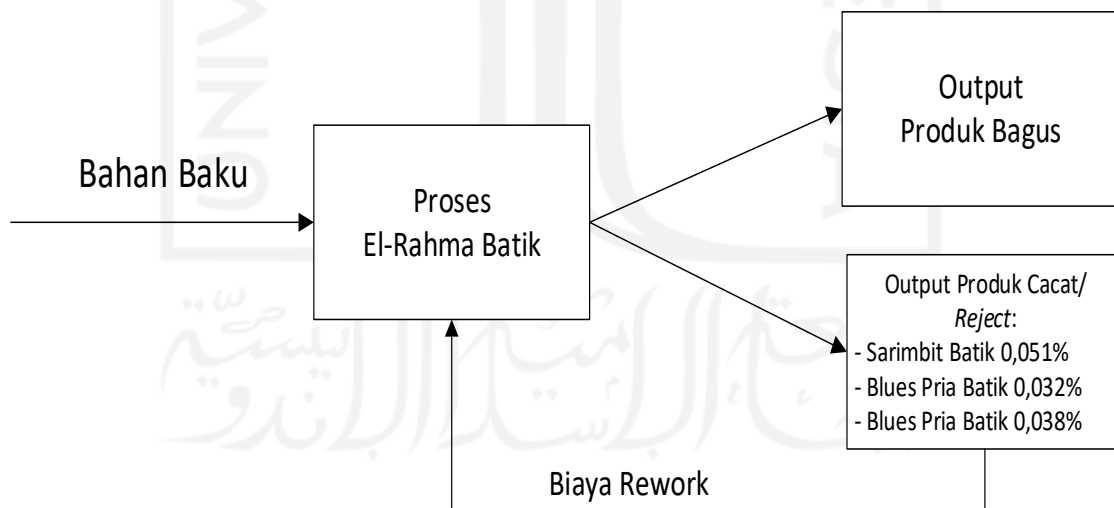
Produk cacat atau *reject* adalah produk yang rusak akibat proses produksi mengalami deteriorasi atau penurunan, sehingga menyebabkan proses produksi berubah status dari terkendali menjadi tidak terkendali. Adapun prosentasi kerusakan dalam setahun pada masing-masing produk:

- Produk sarimbit adalah sebesar 0,051%,
- Produk blues pria batik sebesar 0,032%, dan
- Produk blues wanita batik sebesar 0,038%.

Sehingga rata-rata probabilitas kerusakan untuk setiap produk adalah:

$$\text{Rata - rata probabilitas kerusakan} = \frac{0,051\% + 0,032\% + 0,038\%}{3} = 0,040\%$$

Oleh karena itu perusahaan harus melakukan pengerjaan ulang atau *rework* untuk produk *reject* dengan mengeluarkan biaya *rework*. Berikut adalah aliran proses produksi tidak sempurna pada El-Rahma Batik Gambar 4.2:



Gambar 4.2 Aliran Proses Produksi Tidak Sempurna El-Rahma Batik

4.1.5.2 Biaya Pengerjaan Ulang (Biaya *Rework*)

Dalam proses produksi suatu perusahaan, pasti ada yang dinamakan produk gagal karena dapat dikatakan bahwa hampir tidak mungkin apabila suatu perusahaan memproduksi seluruh produk dengan 100% sempurna tanpa kegagalan. Sehingga perusahaan El-Rahma Batik telah menetapkan batas penyimpangan untuk biaya yang timbul akibat kegagalan produk. Biaya *rework* merupakan biaya yang dikeluarkan untuk memperbaiki kesalahan pada produk agar memenuhi spesifikasi produk yang ditentukan sehingga akan menyebabkan biaya produksi menjadi lebih tinggi dari yang seharusnya. Pada kasus ini, diasumsikan biaya *rework* sebesar 15% dari biaya produksi tiap produk. Berikut adalah perhitungan biaya *rework* yang ditetapkan perusahaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Sarimbit batik} &= \text{biaya produksi sarimbit batik} \times 15\% \\ &= \text{Rp } 151.972 \times 15\% = \text{Rp } 22.796\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Blues pria batik} &= \text{biaya produksi blues pria batik} \times 15\% \\ &= \text{Rp } 61.248 \times 15\% = \text{Rp } 9.187\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Blues wanita batik} &= \text{biaya produksi wanita batik} \times 15\% \\ &= \text{Rp } 61.054 \times 15\% = \text{Rp } 9.158\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total biaya rework untuk 3 jenis produk} \\ &= \text{Rp } 22.796 + \text{Rp } 9.187 + \text{Rp } 9.158 = \text{Rp } 41.141\end{aligned}$$

4.1.6 Biaya Investasi Perbaikan Kualitas dan Penurunan Biaya *Setup*

4.1.6.1 Investasi Perbaikan Kualitas

Pada proses produksi El-Rahma Batik yang tidak sempurna menghasilkan probabilitas produk cacat dalam setahun sebesar 0,040% dengan total biaya *rework* yang dikeluarkan dalam setahun adalah Rp 2.677.422,09. Dalam hal ini El-Rahma Batik mempertimbangkan untuk menurunkan probabilitas produk cacat atau *reject* untuk menekan total biaya *rework* yang cukup besar. Adapun biaya-biaya yang dibutuhkan dalam meningkatkan kualitas produksi El- Rahma Batik yaitu:

- a. Jumlah pekerja pelatihan : 5 orang

- b. Biaya pelatihan pembatikan : Rp 300.000 /orang
 c. Pengadaan peralatan dan permesinan baru : Rp 14.000.000 (*digital printing*)

Total biaya investasi perbaikan kualitas untuk semua produk oleh El-Rahma Batik adalah

$$= (\text{Rp } 300.000 \times 5 \text{ orang}) + \text{Rp } 14.000.000 = \text{Rp } 15.500.000$$

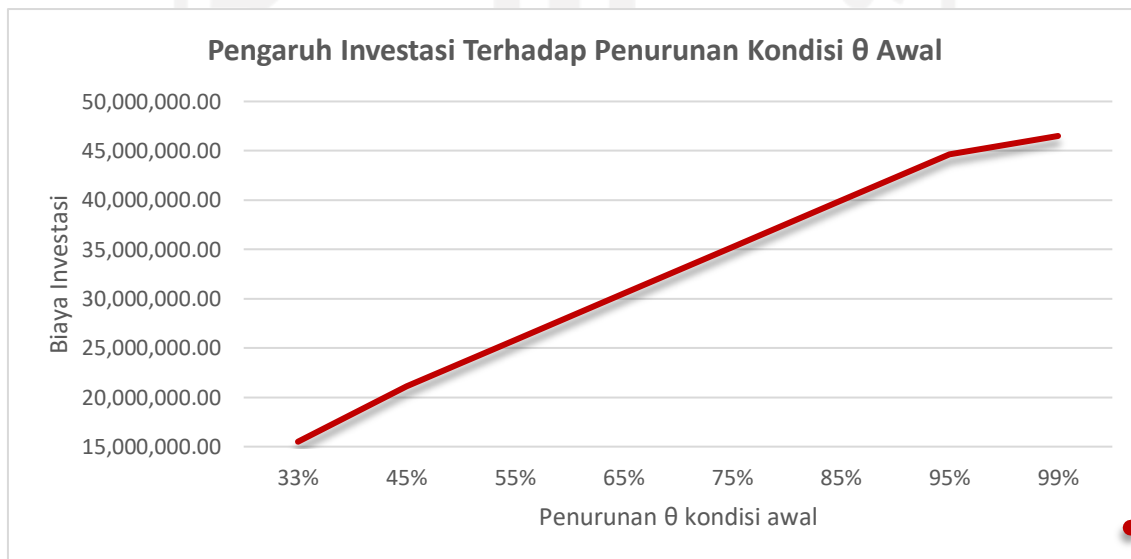
Dengan pengeluaran investasi sebanyak Rp 15.500.000 total biaya *rework* dapat ditekan menjadi Rp 1.793.872,80 /tahun (33% dari total biaya *rework* sebelumnya).

Diilustrasikan: $\theta_0 = 0,040\%$

$n = 33\%$ dengan investasi sebesar Rp 15.500.000

Pada Gambar 4.3 menjelaskan ilustrasi hubungan antara probabilitas terhadap investasi:

- untuk mereduksi 33% dari probabilitas awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 15.500.000
- untuk mereduksi 45% dari probabilitas awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 21.136.364
- untuk mereduksi 55 % dari probabilitas awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 25.833.333
- untuk mereduksi 65% dari probabilitas awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 30.530.303
- untuk mereduksi 75% dari probabilitas awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 35.227.273
- untuk mereduksi 85% dari probabilitas awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 39.924.242
- untuk mereduksi 95 % dari probabilitas awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 44.621.212
- untuk mereduksi 99 % dari probabilitas awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 46.500.000



Gambar 4.3 Hubungan Biaya Investasi dengan Penurunan % Probabilitas *Out-Of-Control*

4.1.6.2 Investasi Penurunan Biaya Setup

Penurunan biaya *setup* dalam perusahaan dapat memberikan kontribusi berupa penurunan total biaya persediaan karena biaya *setup* merupakan biaya yang tidak menambah nilai (*non-added value*). Biaya *setup* adalah biaya-biaya yang dibutuhkan untuk melakukan penyesuaian pada saat membuat suatu barang seperti mempersiapkan mesin produksi, tenaga kerja, penggunaan bahan bakar, persiapan bahan baku, persiapan lainnya yaitu pelapis lilin, dan pelapis warna. Adapun total biaya *setup* yang telah dikeluarkan El-Rahma Batik adalah sebesar Rp 497.500.000/tahun dari perhitungan sebelumnya. Karena biaya *setup* yang sangat tinggi sehingga El-Rahma Batik mengeluarkan investasi modal awal untuk menurunkan biaya *setup* sebesar Rp 550.000 yaitu dengan melakukan perawatan mesin secara berkala dan memodifikasi mesin baru untuk memudahkan proses *setting* dengan diberi tanda visual. Selanjutnya melakukan perawatan mesin secara berkala sebesar Rp 2.750.000. Sehingga total biaya investasi yang dikeluarkan adalah sebesar Rp 3.300.000. Dengan pengeluaran investasi tersebut maka biaya *setup* mengalami penurunan sebesar Rp 352.500.000/tahun. Adapun penurunan biaya *setup* dipengaruhi dari pengurangan waktu *setup* dari proses produksi, pengurangan penggunaan bahan bakar, dan persiapan lainnya. Sehingga besar penurunannya adalah:

$$\frac{(\text{Rp } 497.500.000 - \text{Rp } 352.500.000)}{\text{Rp } 497.500.000} \times 100\% = 30\%$$

Berikut ilustrasi penurunan biaya *setup*:

Dimisalkan: $S_0 = \text{Rp } 2.155.833$ /setup untuk ke-3 jenis produk

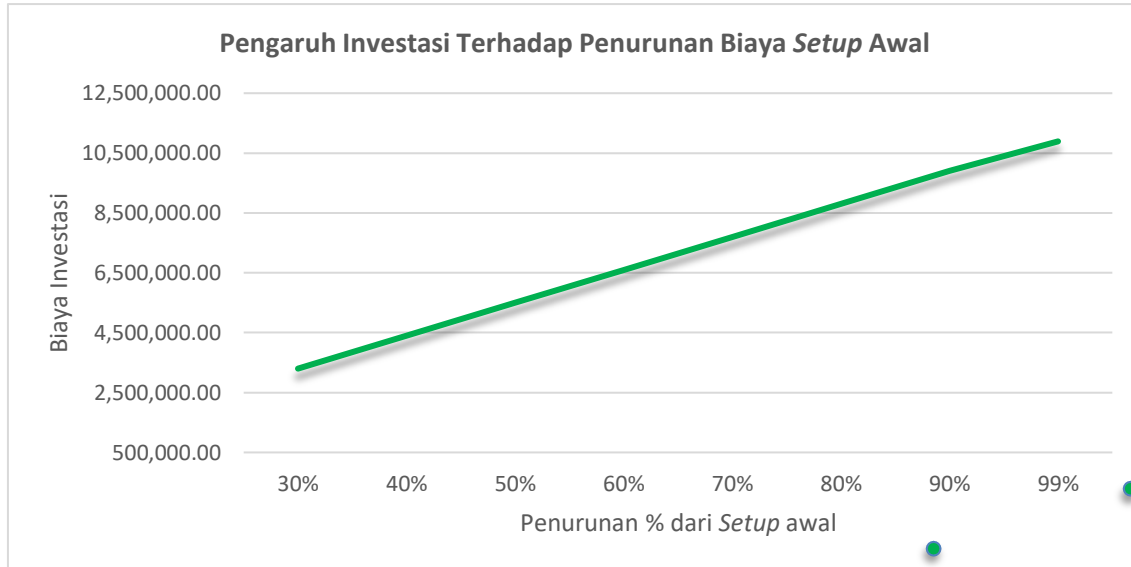
$b = 30\%$ dengan investasi sebesar Rp 3.300.000

Pada Gambar 4.4 menjelaskan hubungan antara biaya *setup* terhadap investasi:

- untuk mereduksi 30 % dari biaya *setup* awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 3.300.000
- untuk mereduksi 40 % dari biaya *setup* awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 4.400.000
- untuk mereduksi 50 % dari biaya *setup* awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 5.500.000
- untuk mereduksi 60 % dari biaya *setup* awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 6.600.000
- untuk mereduksi 70 % dari biaya *setup* awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 7.700.000
- untuk mereduksi 80 % dari biaya *setup* awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 8.800.000

g. untuk mereduksi 90 % dari biaya *setup* awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 9.900.000

h. untuk mereduksi 99 % dari biaya *setup* awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 10.890.000



Gambar 4.4 Hubungan Biaya Investasi dengan Penurunan Tingkat % dari Biaya *Setup* Awal

4.1.7 Profil Perusahaan Pembeli

Titin Batik adalah sebuah perusahaan semacam butik, toko atau grosir yang memasarkan berbagai produk hasil kerajinan batik. Titin Batik berdiri sejak tahun 2001, perusahaan ini didirikan oleh Ny. Titin Hardini dan mempunyai lebih dari 20 orang karyawan. Perusahaan ini berpusat di Jl. Kenanga 7, Klego Pekalongan. Perusahaan butik ini memiliki 3 cabang dalam memasarkan produk-produk kerajinan batik, yaitu di pasar grosir setono pekalongan, pasar grosir gamer pekalongan, dan di pasar beringharjo jogja. Untuk memenuhi kebutuhan konsumennya yang dari berbagai macam daerah, Titin batik memiliki banyak supplier dari bermacam-macam pengrajin batik dan perusahaan batik. Kebanyakan dari produk-produk kerajinan Titin Batik berasal dari perusahaan El-Rahma Batik. Frekuensi pengiriman biasanya dilakukan sekali dalam sebulan. Adapun produk-produknya antara lain seperti hem batik, kemeja batik, blus pria batik, blus wanita batik, sarimbit, kain batik 2 meter, kain batik 4 meter, serat nanas, seprei batik, taplak meja batik, sarung batik, selendang batik, jilbab batik, dan berbagai macam kerajinan batik lainnya.

Akan tetapi pada penelitian ini memfokuskan pada permintaan untuk 3 jenis produk yaitu sarimbit, blues pria batik, dan blues wanita batik.

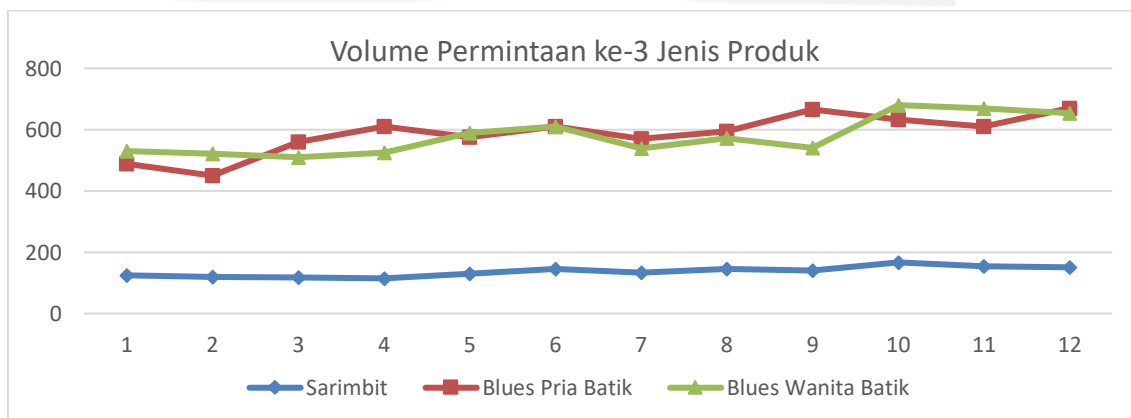
4.1.8 Data Permintaan Pembeli

Data permintaan pada ke-3 jenis produk dari pelanggan selama satu tahun terakhir dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Permintaan Produk Sarimbit Batik, Blues Pria Batik & Blues Wanita Batik

Periode	Produk		
	Sarimbit Batik	Blues Pria Batik	Blues Wanita Batik
Januari	125	488	530
Februari	120	450	522
Maret	118	560	510
April	115	610	525
Mei	130	575	590
Juni	145	610	611
Juli	134	570	539
Agustus	145	595	572
September	140	665	540
Oktober	167	632	680
November	154	610	670
Desember	151	670	654
Total	1644	7035	6943

Gambar 4.5 dibawah ini menunjukan pola permintaan pada ketiga jenis produk.



Gambar 4.5 Pola Permintaan Pada Ketiga Jenis Produk Periode Januari sampai Desember

4.1.8.1 Rata-rata Permintaan

Dari seluruh populasi batik, dalam penelitian ini digunakan ada tiga jenis produk yaitu Sarimbit Batik, Blues Pria Batik, dan Blues Wanita Batik. Sehingga perhitungan rata-rata ($\bar{X}$) adalah menggunakan rumus:

Rata-rata Permintaan Produk Sarimbit Batik

$$= \frac{125 + 120 + 118 + 115 + 130 + 145 + 134 + 145 + 140 + 167 + 154 + 151}{12} = \frac{1644}{12}$$

$$= 137 \text{ unit/bulan}$$

Rata-rata Permintaan Produk Blues Pria Batik

$$= \frac{488 + 450 + 560 + 610 + 575 + 610 + 570 + 595 + 665 + 632 + 610 + 670}{12} = \frac{7035}{12}$$

$$= 586,25 \text{ unit/bulan}$$

Rata-rata Permintaan Produk Blues Wanita Batik

$$= \frac{530 + 522 + 510 + 525 + 590 + 611 + 539 + 572 + 540 + 680 + 670 + 654}{12} = \frac{6943}{12}$$

$$= 578,58 \text{ unit/bulan}$$

4.1.8.2 Standar Deviasi Permintaan

Dari seluruh populasi batik, dalam penelitian ini digunakan ada tiga jenis produk yaitu Sarimbit Batik, Blues Pria Batik, dan Blues Wanita Batik. Sehingga perhitungan simpangan bakunya (s) adalah menggunakan rumus:

Standar Deviasi Produk Sarimbit Batik

$$= \sqrt{\frac{(137 - 125)^2 + (137 - 120)^2 + \dots + (137 - 151)^2}{12 - 1}} = 16,12 \frac{\text{unit}}{\text{bulan}}$$

$$= \frac{16,12 \frac{\text{unit}}{\text{bulan}}}{4 \frac{\text{minggu}}{\text{bulan}}} = 4,03 \frac{\text{unit}}{\text{minggu}}$$

Standar Deviasi Produk Blues Pria Batik

$$= \sqrt{\frac{(586,25 - 488)^2 + (586,25 - 450)^2 + \dots + (586,25 - 670)^2}{12 - 1}} = 64,93 \frac{\text{unit}}{\text{bulan}}$$

$$= \frac{64,93 \frac{\text{unit}}{\text{bulan}}}{4 \frac{\text{minggu}}{\text{bulan}}} = 16,23 \frac{\text{unit}}{\text{minggu}}$$

Standar Deviasi Produk Blues Wanita Batik

$$= \sqrt{\frac{(578,58 - 530)^2 + (578,58 - 522)^2 + \dots + (578,58 - 654)^2}{12 - 1}} = 61,60 \frac{\text{unit}}{\text{bulan}}$$

$$= \frac{61,60 \frac{\text{unit}}{\text{bulan}}}{4 \frac{\text{minggu}}{\text{bulan}}} = 15,40 \frac{\text{unit}}{\text{minggu}}$$

4.1.9 Biaya Pesan Pembeli

Dalam melakukan pemesanan untuk ke-3 jenis produk yaitu Sarimbit Batik, Blues Pria Batik, dan Blues Wanita Batik, Titin Batik akan mengeluarkan sejumlah biaya diantaranya biaya komunikasi dan biaya administrasi. Biaya komunikasi dan administrasi adalah biaya telepon, *faximile* dan cetak surat yang dibuat perusahaan untuk mencatat jumlah dan spesifikasi produk yang dibutuhkan kepada pemasok. Biaya tiap kali pesan yang dikeluarkan Titin Batik dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Biaya Telepon per bulan : Rp 200.000
- Biaya Faximile per bulan : Rp 100.000
- Biaya administrasi per bulan : Rp 50.000 +
- **Total biaya pesan per bulan : Rp 350.000**
- **Total biaya pesan per tahun = Rp 350.000 x 12 : Rp 4.200.000**
- Rata-rata frekuensi pemesanan : 12 kali pemesanan/tahun

Sehingga biaya pesan per sekali pesan adalah

$$\frac{\text{Total biaya pesan tahun}}{\text{Rata – rata freq. pemesanan per tahun}} = \frac{\text{Rp 4.200.000/tahun}}{12 \text{ pesan/tahun}} = \text{Rp 350.000/pesan}$$

4.1.10 Biaya Simpan Pembeli

Titin Batik menetapkan biaya simpan produk-produknya dengan memperhatikan beberapa faktor yaitu biaya listrik, biaya sewa dan pemeliharaan gudang (misalnya: pembersihan dan bongkar muat), biaya keamanan, dan biaya bunga. Adapun rincian tiap biaya-biaya sebagai berikut:

1. Biaya listrik

- Rata-rata biaya listrik per bulan : Rp 950.000
- Jumlah bulan dalam setahun : 12 bulan

Total biaya listrik per tahun

$$= 12 \frac{\text{bulan}}{\text{tahun}} \times \frac{\text{Rp } 950.000}{\text{bulan}} = \text{Rp } 11.400.000/\text{tahun}$$

2. Biaya sewa dan pemeliharaan gudang

- Rata-rata biaya sewa & pemeliharaan gudang / bulan : Rp 5.500.000
- Jumlah bulan dalam setahun : 12 bulan

Total biaya sewa & pemeliharaan gudang per tahun

$$= 12 \frac{\text{bulan}}{\text{tahun}} \times \frac{\text{Rp } 5.500.000}{\text{bulan}} = \text{Rp } 66.000.000/\text{tahun}$$

3. Biaya keamanan

- Jumlah satpam : 2 orang
- Jumlah bulan dalam setahun : 12 bulan
- Gaji satpam per bulan : Rp 1.500.000

Total biaya keamanan per tahun

$$= 2 \text{ org} \times 12 \frac{\text{bulan}}{\text{tahun}} \times \frac{\text{Rp } 1.500.000}{\text{bulan}} = \text{Rp } 36.000.000/\text{tahun}$$

Sehingga total biaya pesan dan simpan untuk semua jenis produk dalam satu tahun adalah sebagai berikut:

- Biaya pesan per tahun : Rp 4.200.000
- Biaya listrik per tahun : Rp 11.400.000
- Biaya pemeliharaan gedung per tahun : Rp 66.000.000

- Biaya keamanan per tahun : Rp 36.000.000 +

Total biaya pesan dan simpan per tahun : Rp 117.600.000

Sementara itu untuk mengetahui perhitungan harga jual pada masing-masing jenis produk, Titin Batik melibatkan beberapa biaya diantaranya biaya pesan dan biaya simpan. Adapun perhitungan biaya seperti berikut:

1. Harga Jual dan Biaya Simpan Sarimbit Batik

Adapun rincian biaya-biaya yang terkait adalah sebagai berikut:

Biaya produksi per unit : Rp 151.972/unit

Margin keuntungan El-Rahma Batik : 10%

Harga beli = Rp 151.972 + (Rp 151.972 x 10%) : Rp 167.169/unit

Total biaya pesan dan simpan : Rp 117.600.000

Margin keuntungan Titin Batik : 30%

Jumlah permintaan Sarimbit Batik selama 1 tahun : 1.644 unit

Sehingga harga jual 1 produk Sarimbit Batik adalah

$$\frac{\text{Rp } 117.600.000}{1.644 \text{ unit}} + \text{Rp } 167.169/\text{unit} + \left(\frac{\text{Rp } 167.169}{\text{unit}} \times 30\% \right) = \text{Rp } 288.853/\text{unit}$$

Untuk menghitung biaya simpan per unit per tahun pada produk sarimbit dengan menggunakan bunga yang telah ditetapkan oleh perbankan sebesar 11,5%/tahun. Sehingga biaya simpan untuk produk Sarimbit Batik adalah sebagai berikut:

Biaya Simpan Sarimbit batik = BI rate x harga jual sarimbit

$$= 11,5 \% \times \text{Rp } 288.853/\text{unit} = \text{Rp } 33.218/\text{unit}/\text{tahun}$$

2. Harga Jual Blues Pria Batik

Adapun rician biaya-biaya yang terkait adalah sebagai berikut:

Biaya produksi per unit : Rp 61.248

Margin keuntungan El-Rahma Batik : 10%

Harga beli = Rp 61.248 + (Rp 61.248 x 10%) : Rp 67.372/unit

Total biaya pesan dan simpan : Rp 117.600.000

Margin keuntungan Titin Batik : 30%

Jumlah permintaan Blues Pria Batik selama 1 tahun : 7.035 unit

Sehingga harga jual 1 produk Blues Pria Batik adalah

$$\frac{\text{Rp } 117.600.000}{7.035 \text{ unit}} + \text{Rp } 67.372/\text{unit} + \left(\frac{\text{Rp } 67.372}{\text{unit}} \times 30\% \right) = \text{Rp } 104.301/\text{unit}$$

Dengan cara yang sama menghitung biaya simpan per unit per tahun untuk produk Blues Pria Batik dengan bunga sebesar 11,5%/tahun. Sehingga biaya simpan untuk produk Blues Pria Batik adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya Simpan Blues pria batik} &= \text{BI rate} \times \text{biaya produksi blues pria batik} \\ &= 11,5 \% \times \text{Rp } 104.301/\text{unit} = \text{Rp } 11.995/\text{unit}/\text{tahun} \end{aligned}$$

3. Harga Jual Blues Wanita Batik

Adapun rician biaya-biaya yang terkait adalah sebagai berikut:

Biaya produksi per unit : Rp 61.054

Margin keuntungan El-Rahma Batik : 10%

Harga beli = $\text{Rp } 61.054 + (\text{Rp } 61.054 \times 10\%)$: Rp 67.159/unit

Total biaya pesan dan simpan : Rp 117.600.000

Margin keuntungan Titin Batik : 30%

Jumlah permintaan Blues Wanita Batik selama 1 tahun : 6.943 unit

Sehingga harga jual 1 produk Blues Wanita Batik adalah

$$\frac{\text{Rp } 117.600.000}{6.943 \text{ unit}} + \text{Rp } 67.159/\text{unit} + \left(\frac{\text{Rp } 67.159}{\text{unit}} \times 30\% \right) = \text{Rp } 104.245/\text{unit}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Simpan Blues wanita batik} &= \text{BI rate} \times \text{biaya produksi blues wanita batik} \\ &= 11,5 \% \times \text{Rp } 104.245/\text{unit} = \text{Rp } 11.988/\text{unit}/\text{tahun} \end{aligned}$$

4.1.11 Biaya Shortage

Biaya *shortage* adalah biaya yang timbul karena kondisi ketidaktersediaan produk pada waktu diperlukan. Pada Titin Batik, kondisi ini terjadi disaat menerima pesanan dari pelanggan dan tidak ada persediaan (*stockout*) digudang, sehingga pelanggan dijanjikan produk akan datang ataupun tersedia pada periode berikutnya. Tindakan seperti ini merupakan sebuah keputusan yang sangat penting dalam perusahaan untuk meningkatkan

tingkat pelayanan terhadap pelanggan. Kemudian perusahaan Titin Batik bernegosiasi dengan pelanggan untuk memenuhi permintaan tersebut pada saat kondisi kekurangan dimana Titin Batik melakukan pemesanan ulang (*backorder*) ke El-Rahma Batik dan selanjutnya melemburkan sebagian pekerja untuk mencukupi kekurangan tersebut dengan biaya yang dibebankan kepada Titin Batik. Selain itu Titin Batik dapat mengantisipasi agar tidak kehilangan kesempatan untuk mendapatkan keuntungan (*lost sales*). Adapun rasio *backorder* dari perusahaan Titin Batik diasumsikan sebesar 25% untuk tiap jenis produk.

Dalam kasus ini El-Rahma Batik dapat menawarkan potongan biaya *backorder* ke Titin Batik dengan cara mengurangi jumlah pekerja yang dilemburkan dari kondisi normal atau menggunakan tenaga kerja *outsourcing* dengan upah murah yang mempertimbangkan kuantitas permintaan. Untuk lebih jelas ketetapan biaya *shortage* dapat dilihat pada Tabel 4.3. Tabel tersebut menunjukkan bahwa biaya kekurangan pada masing-masing produk pakaian batik dibagi menjadi 2 macam yaitu biaya pemesanan ulang (*backorder*) dan biaya kehilangan penjualan (*lost sales*).

Tabel 4.3 Data Biaya *Shortage* Produk Sarimbit Batik, Blues Pria Batik & Blues Wanita Batik

Produk	Biaya <i>shortage</i>		<i>Backorder Ratio</i> (β_0)
	<i>Backorder</i>	<i>Lost Sales</i> *	
Sarimbit	150.000	50.151	0,25
Blues Pria Batik	80.000	20.212	0,25
Blues Wanita Batik	100.000	20.148	0,25

**lost sales* diasumsikan sama dengan kehilangan keuntungan yang diperoleh dari perhitungan pada subbab 4.1.10 Biaya Simpan Pembeli.

4.1.12 *Lead time* Pembeli

Pertimbangan perusahaan Titin batik untuk memenuhi permintaan yang cepat, dinamis serta fluktuatif dari pelanggan untuk menjaga tingkat pelayanan dan kepuasan pelanggan maka Titin Batik melakukan percepatan *lead time* pada masing masing produk. Percepatan *lead time* pada El-Rahma Batik terbagi menjadi 3 komponen yaitu waktu *order*, waktu proses, dan waktu transport yang memiliki durasi normal d_i (hari), durasi minimum c_i (hari), dan biaya percepatan perhari e_i (Rp/hari). Percepatan tersebut akan menimbulkan

biaya tambahan yaitu biaya *crashing lead time* pada tiap komponen *lead time*, *L* yang dipercepat pada tiap jenis produk yang ditanggung oleh Titin Batik. Adapun data *lead time* durasi normal tanpa percepatan dan durasi minimum jika ingin melakukan percepatan dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4.4 Data *Lead Time* Pembeli

Komponen <i>lead time</i> (i)	Waktu Normal (hari)	Waktu Minimum (hari)	Biaya Percepatan (Rp/hari)
Waktu pesan	3	1	5.000
Waktu proses	21	10	10.000
Waktu kirim	5	3	8.000

4.1.13 Biaya Investasi Penurunan Biaya Pesan

Dalam perusahaan penurunan biaya pesan dapat memberikan kontribusi yaitu pada penurunan total biaya persediaan karena biaya pesan merupakan biaya yang tidak menambah nilai (*non-added value*). Biaya pesan adalah biaya yang dikeluarkan untuk sekali pemesanan seperti biaya telepon, *faximile* dan administrasi. Adapun total biaya pesan yang telah dikeluarkan Titin Batik adalah sebesar Rp 4.200.000/tahun dari perhitungan sebelumnya. Titin Batik bertujuan untuk menurunkan biaya pesan sehingga mengeluarkan investasi modal awal sebesar Rp 550.000 dengan rincian memasang jaringan internet (Wifi) dan tambahan fasilitas telepon gratis serta mampu menggunakan teknologi *e-mail*. Dengan pengeluaran investasi tersebut maka biaya pesan mengalami penurunan sebesar Rp 3.000.000/tahun. Adapun penurunan biaya pesan mempengaruhi pengurangan biaya-biaya administrasi dan operasional seperti biaya telepon, *faximile*, percetakan, dan administrasi lainnya (menuju *paperless*). Sehingga besar penurunannya adalah:

$$\frac{(\text{Rp } 4.200.000 - \text{Rp } 3.000.000)}{\text{Rp } 4.200.000} \times 100\% = 28,57\%$$

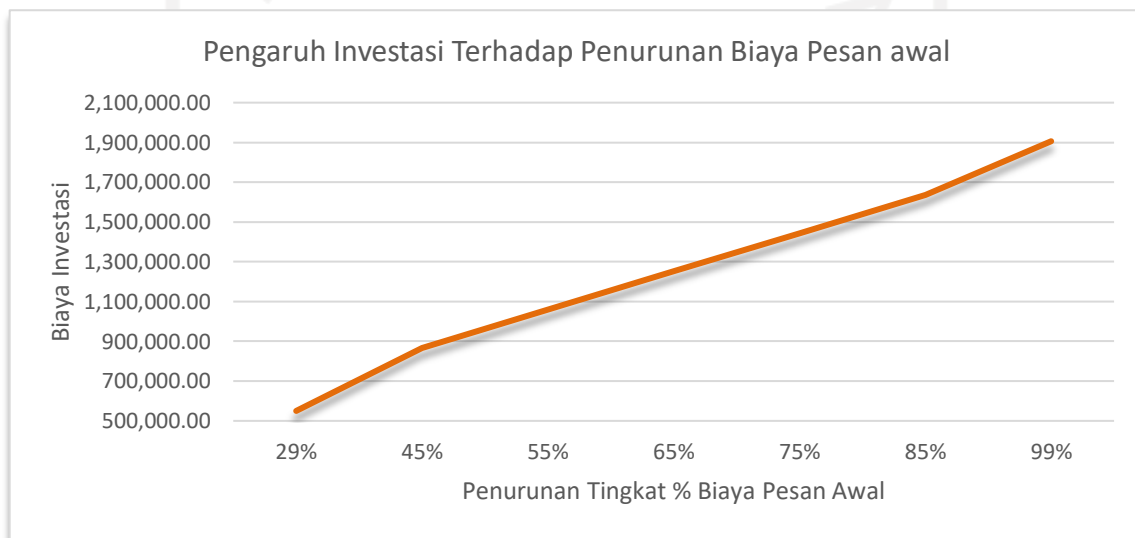
Berikut ilustrasi penurunan biaya pesan yang digambarkan pada Gambar 4.6.

Dimisalkan biaya pesan awal (A_0) = Rp 350.000/pesan

a = 28,57% dengan investasi sebesar Rp 550.000

Sehingga berdasarkan informasi tersebut maka:

- a. untuk mereduksi 29% dari biaya pesan awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 550.000
- b. untuk mereduksi 45% dari biaya pesan awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 866.293
- c. untuk mereduksi 55% dari biaya pesan awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 1.058.802
- d. untuk mereduksi 65% dari biaya pesan awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 1.251.312
- e. untuk mereduksi 75% dari biaya pesan awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 1.443.822
- f. untuk mereduksi 85% dari biaya pesan awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 1.636.331
- g. untuk mereduksi 99% dari biaya pesan awal dibutuhkan biaya sebesar Rp 1.905.845



Gambar 4.6 Hubungan Biaya Investasi Dengan Penurunan Presentasi Biaya Pesan

4.1.14 Biaya Logistik

Perusahaan El-Rahma Batik ingin menekan biaya transportasi pada perusahaan dikarenakan biaya-biaya yang terkait dengan transportasi cukup banyak diantaranya biaya operasional, biaya *maintenance* kendaraan, biaya bahan bakar, pajak dan lain-lain. Oleh karena itu, kedua belah pihak yaitu El-Rahma Batik dan Titin Batik sepakat bekerja sama dengan mengintegrasikan penyedia jasa pengiriman yang terpercaya dan menawarkan biaya yang murah sebagai pihak ke-3. Banyak manfaat dan keuntungan yang didapat dengan bekerja sama penyedia jasa pengiriman diantaranya praktis, memberikan kemudahan dan kelancaran dalam operasional, menghemat waktu dan juga biaya.

Penyedia jasa pengiriman mengambil produk jadi dan mengirimkan dari El-Rahma Batik, Pekalongan ke Titin Batik, Pasar Beringharjo dengan jarak antara kedua perusahaan adalah 218 Km. Biaya logistik ditanggung sepenuhnya oleh Titin Batik. Pada penelitian ini penyedia jasa pengiriman diasumsikan menggunakan jenis kendaraan truck merek Mitsubishi tipe Colt Diesel Double (CDD) Box Reefer seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Truk Mitsubishi tipe *Colt Diesel Double (CDD) Box Reefer*

Adapun spesifikasi kendaraan tersebut, yaitu:

- Kapasitas truk FTL maksimum : 8.000 kg
- Konsumsi BBM solar : 39,5 liter/100 km

Jika data konsumsi bahan bakar dikonversi menjadi liter/km maka diperoleh:

$$= \frac{39,5 \text{ liter}}{100 \text{ km}} = 0,395 \text{ liter/km}$$

Kendaraan truk ini menggunakan bahan bakar solar. Adapun harga bahan bakar solar yang belum disubsidi adalah sebesar Rp 11.500/liter. Karena ada bantuan pemerintah secara tidak langsung kepada penyedia jasa logistik berupa subsidi pada bahan bakar solar sehingga harga solar dengan subsidi menjadi Rp 8.625/liter.

Berdasarkan data tarif penyedia jasa pengiriman JNE:

- Biaya pengiriman Pekalongan ke Yogyakarta : Rp 40.000/ kg
- Jarak antara Pekalongan dan Yogyakarta : 218 km

Maka biaya logistik dapat dihitung

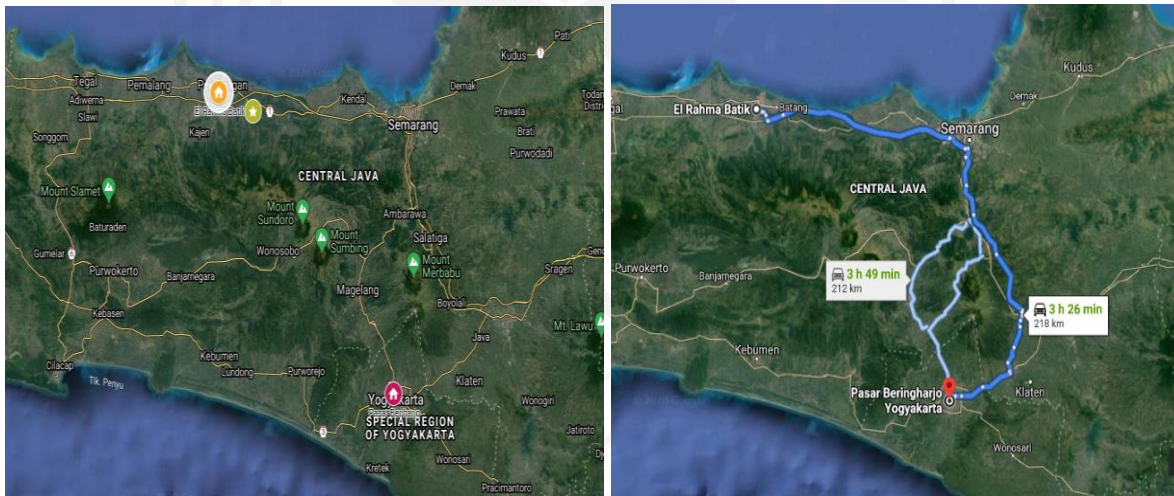
$$= \frac{\text{Rp } 40.000/\text{kg}}{218 \text{ km}} = \text{Rp } 183/\text{kg/km}$$

Perusahaan penyedia jasa JNE Pekalongan yang terletak di Jl. Dr. Cipto Mangunkusomo No.22, Sugihwaras, Kec. Pekalongan Tim., Kota Pekalongan, Jawa Tengah, memberikan faktor diskon berdasarkan hasil negosiasi dengan Titin Batik. Faktor diskon yang diberikan untuk mempertimbangkan pengiriman truk LTL yaitu 99,65% atau pengiriman truk FTL sebesar $\alpha = 0,35\%$. Kemudian untuk berat setiap pakaian batik diasumsikan 0,5 kg/unit.

Adapun hubungan antara El-Rahma Batik, Titin Batik dan JNE seperti pada Gambar 4.8 berikut ini:

- Jarak antara penyedia jasa JNE dengan El-Rahma Batik Pekalongan : 4,5 Km
- Jarak antara penyedia jasa JNE ke Titin Batik Pasar Beringharjo, Yogya : 213,5 Km

Berikut adalah lokasi El-Rahma Batik, Titin Batik Beringharjo dengan penyedia jasa JNE.



Gambar 4.8 Peta Geografi Hubungan El-Rahma Batik, JNE dan Titin Batik

4.1.15 Biaya Surchage

Pada perusahaan penyedia jasa pengiriman sebagai pihak ketiga yaitu JNE menawarkan layanan antar-jemput (*pick-up service*). Biaya jasa antar-jemput tersebut sebagai biaya tambahan yang dibebankan kepada Titin Batik. Biaya tambahan ini meliputi biaya

material handling, biaya tenaga kerja, biaya pemesanan *pick-up*, dan lain-lain. Biaya jasa antar-jemput (*pick-up*) per tahun adalah perkalian antara frekuensi antara ekspektasi frekuensi jumlah pengiriman dalam satu tahun dikali dengan biaya jasa tambahan atau *surcharge* (*u*). Adapun biaya tambahan (*surcharge*) yang dibebankan pada perusahaan Titin Batik terdiri dari:

- Biaya telepon per sekali pesan	: Rp 10.000
- Biaya <i>material handling</i> per sekali pesan	: Rp 250.000 +
Total biaya <i>surcharge</i> sebesar	: Rp 260.000



4.1.16 Rekapitulasi Data Parameter

Rekapitulasi data parameter El-Rahma Batik dan Titin Batik untuk produk Sarimbit Batik, Blues Batik Pria, dan Blues Wanita Batik dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan data *lead-time* pada Tabel 4.6 dibawah ini:

Tabel 4.5 Rekapitulasi Data-data Parameter El-Rahma Batik dan Titin Batik

Parameter	Produk Pakaian Batik			Nilai Parameter Yang Digunakan	Satuan
	Sarimbit	Blues Pria	Blues Wanita		
Rata-rata permintaan Titin Batik (D)	1.644	7.035	6.943	15.622	Unit/tahun
Tingkat produksi El-Rahma Batik (P)	5.070	12.580	12.620	30.270	Unit/tahun
Biaya pesan awal Titin Batik (A_0)	-	-	-	350.000	Rp/pesan
Biaya <i>setup</i> awal El-Rahma Batik (S_0)	995.000	497.500	663.333	2.155.833	Rp/setup
Biaya simpan Titin Batik (h_b)	33.218	11.995	11.988	57.201	Rp/unit/tahun
Biaya simpan El-Rahma Batik (h_v)	17.477	7.044	7.021	31.542	Rp/unit/tahun
Biaya <i>backorder</i> Titin Batik (π_x)	150.000	80.000	100.000	330.000	Rp/unit
Biaya <i>lost-sales</i> Titin Batik (π_0)	50.151	20.212	20.148	90.511	Rp/unit
Standar deviasi permintaan Titin Batik (σ)	4,03	16,23	15,40	35,66	Unit/minggu
Rasio <i>backorder</i> Titin Batik (θ)	0,25	0,25	0,25	0,25	-
Faktor diskon LTL (α)	-	-	-	0,0035	-
Berat pakaian batik (w)	0,50	0,50	0,50	0,50	Kg/unit
Jarak Titin batik ke JNE (d_b)	-	-	-	213,5	Km
Jarak El-Rahma Batik ke JNE (d_v)	-	-	-	4,5	Km
Konsumsi BBM (γ)	-	-	-	0,395	Liter/km
Biaya logistik (F_x)	-	-	-	183	Rp/kg/km
Kapasitas truk FTL (W_x)	-	-	-	8.000	Kg
Biaya <i>pick-up service</i> (u)	-	-	-	260.000	Rp
Faktor subsidi dari pemerintah (Δ)	-	-	-	0,25	-

Parameter	Produk Pakaian Batik			Nilai Parameter Yang Digunakan	Satuan
	Sarimbit	Blues Pria	Blues Wanita		
Harga BBM sebelum disubsidi (δ)	-	-	-	11.500	Rp/liter
Harga BBM setelah disubsidi $[(1-\Delta)\delta]$	-	-	-	8.625	Rp/liter
Biaya <i>rework</i> El-Rahma Batik (g)	22.796	9.187	9.158	41.141	Rp/unit
Probabilitas <i>out-of-control</i> awal (θ_0)	0,051%	0,032%	0,038%	0,040%	-
Fraksi modal investasi (t)	-	-	-	11,5%	-
Biaya investasi perbaikan kualitas $I(\theta)$	-	-	-	15.500.000	Rp
Bi.investasi penurunan biaya <i>setup</i> $I(S)$	-	-	-	3.300.000	Rp
Bi. investasi penurunan biaya pesan $I(A)$	-	-	-	550.000	Rp
Tingkat penurunan probabilitas <i>reject</i>	-	-	-	33,00	%
Tingkat penurunan biaya <i>setup</i>	-	-	-	30,00	%
Tingkat penurunan biaya pesan	-	-	-	28,57	%
$n = I(\theta) / \text{tingkat penurunan prob.reject}$	-	-	-	46.969.696,97	Rp
$b = I(S) / \text{tingkat penurunan biaya setup}$	-	-	-	11.000.000,00	Rp
$a = I(A) / \text{biaya investasi penurunan pesan}$	-	-	-	1.925.096,25	Rp

Tabel 4.6 Data *Lead Time* Titin Batik

Komponen <i>lead time</i> (i)	Waktu Normal (hari)	Waktu minimum (hari)	Biaya percepatan (Rp/hari)
Waktu <i>setup</i>	3	1	5.000
Waktu proses	21	10	10.000
Waktu kirim	5	3	8.000

4.2 Pengolahan Data

Setelah data-data parameter dikumpulkan, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan berdasarkan kondisi riil perusahaan, modifikasi dari model dasar Wangsa dan Wee (2017), pengembangan model I, pengembangan model II, dan pengembangan model III.

4.2.1 Perhitungan Kondisi Riil Perusahaan

1. Titin Batik (Pembeli)

Pada perhitungan kondisi riil perusahaan, diketahui frekuensi pemesanan perusahaan Titin Batik ke El-Rahma Batik (pemasok) sebanyak 12 kali dalam setahun. Oleh karena itu ukuran lot pemesanan (Q_b) pada kondisi riil perusahaan Titin Batik adalah:

$$Q_b = \frac{D}{f} = \frac{15.622 \text{ unit/tahun}}{12 \text{ kali/tahun}} = 1.301,83 \text{ unit}$$

Dengan berat barang per pakaian batik (w) adalah 0,5 kg/unit. Oleh karena itu jumlah berat yang dilakukan dalam sekali pengiriman dengan menggunakan *truck* adalah $W_y = Q_b \times w = 1.301,83 \text{ unit} \times 0,5 \frac{\text{kg}}{\text{unit}} = 650,92 \text{ kg}$. Setelah mendapatkan Q_b untuk semua jenis produk, maka dapat dihitung Q_b untuk masing-masing setiap jenis produk:

$$Q_{b1} = \frac{D_1 \times Q_b}{D} = \frac{1.644 \times 1.301,83}{15.622} = 137 \text{ unit}$$

$$Q_{b2} = \frac{D_2 \times Q_b}{D} = \frac{7.035 \times 1.301,83}{15.622} = 586,25 \text{ unit}$$

$$Q_{b3} = \frac{D_3 \times Q_b}{D} = \frac{6.943 \times 1.301,83}{15.622} = 578,58 \text{ unit}$$

Diketahui data *safety factor* (k) bahwa Titin Batik menyiapkan 25% dari kebutuhan sarimbit batik, 25% dari kebutuhan blues pria batik, dan 25% dari kebutuhan blues wanita batik. Sehingga *safety stock* (SS) untuk tiap jenis produk adalah sebagai berikut:

$$SS_1 = k_1 \sigma_1 \sqrt{L} = 0,25 \times 4,03 \times \sqrt{\frac{29}{7}} = 2,05 \text{ unit}$$

$$SS_2 = k_2 \sigma_2 \sqrt{L} = 0,25 \times 16,23 \times \sqrt{\frac{29}{7}} = 8,26 \text{ unit}$$

$$SS_3 = k_3 \sigma_3 \sqrt{L} = 0,25 \times 15,40 \times \sqrt{\frac{29}{7}} = 7,84 \text{ unit}$$

Dan untuk pemesanan ulang (ROP) untuk setiap jenis produknya adalah sebagai berikut:

$$ROP_1 = D_1 L + SS_1 = \left(1.644 \times \frac{29}{250} \right) + 2,05 = 192,75 \text{ unit}$$

$$ROP_2 = D_2 L + SS_2 = \left(7035 \times \frac{29}{250} \right) + 8,26 = 824,32 \text{ unit}$$

$$ROP_3 = D_3 L + SS_3 = \left(6943 \times \frac{29}{250} \right) + 7,84 = 813,22 \text{ unit}$$

Sehingga dapat dihitung biaya-biaya pada kondisi Riil di Titin Batik sebagai berikut:

1.1 Biaya Pesan (OC_b)

$$OC_b = \frac{AD}{Q_b} = \frac{350.000 \times 15.622}{1.301,83} = Rp 4.200.000/tahun$$

1.2 Biaya Simpan (HC_b)

$$HC_b = h_b \left(\frac{Q_b}{2} + k \sigma \sqrt{L} \right) = 57.201 \times \left(\frac{1.301,83}{2} + 18,15 \right) = Rp 38.271.127,98 /tahun$$

1.3 Biaya Kekurangan (SC_b)

$$SC_b = \frac{D}{Q_b} [\pi_x \beta + \pi_0 (1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \psi(k)$$

$$= \frac{15.622}{1.301,83} [330.000 \times 0,25 + 90.511 (1 - 0,25)] \times 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,2863$$

$$= Rp 37.506.036,90/tahun$$

1.4 Biaya Logistik (LC_b)

$$LC_b = \frac{D}{Q} [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta)\gamma](2d_v + d_b) + D(1 - \alpha)F_x w(2d_v + d_b)$$

$$LC_b = \frac{15.622}{1.301,83} [0,0035 \times 183 \times 8.000 + 11.500 (1 - 0,25)0,395](2 \times 4,5 + 213,5)$$

$$+ 15.622 (1 - 0,0035) 183 \times 0,5 (2 \times 4,5 + 213,5) = Rp 340.587.123,91 /tahun$$

1.5 Total Biaya Titin Batik (TEC_b) Kondisi Riil

$$TEC_b = OC_b + HC_b + SC_b + LC_b$$

$$= 4.200.000 + 38.271.127,98 + 37.506.036,90 + 340.587.123,91$$

$$= Rp 420.564.288,79 /tahun$$

2. El-Rahma Batik (Pemasok)

Pada perhitungan kondisi riil perusahaan, diketahui frekuensi *setup* perusahaan El-Rahma Batik dalam sehari sebanyak 12 kali, maka dalam setahun frekuensi *setup* adalah 750 kali. Ukuran *lot* produksi (Q_v) pada kondisi riil perusahaan El-Rahma Batik adalah:

$$Q_v = \frac{D}{f} = \frac{15.622 \text{ unit/tahun}}{750 \text{ kali/tahun}} = 20,83 \text{ unit}$$

Adapun biaya-biaya yang terkait El-Rahma Batik sebagai berikut:

2.1 Biaya Setup (SC_v)

$$SC_v = \frac{SD}{Q_v} = \frac{2.155.833 \times 15.622}{20,83} = Rp 1.616.875.000/tahun$$

2.2 Biaya Simpan (HC_v)

$$HC_v = h_v \frac{Q_v}{2} \left(1 - \frac{D}{P}\right) = 31.542 \times \frac{20,83}{2} \left(1 - \frac{15.622}{30.270}\right) = Rp 158.964,63 /tahun$$

2.3 Biaya Perbaikan Ulang (Rework) (RC_v)

$$RC_v = \frac{Q_v g D \theta}{2} = \frac{20,83 \times 41.141 \times 15.622 \times 0,00040}{2} = Rp 2.677.422,09 /tahun$$

4. Total Biaya El-Rahma Batik (TEC_v) Kondisi Riil

$$\begin{aligned} TEC_v &= SC_v + HC_v + RC_v \\ &= 1.616.875.000 + 158.964,63 + 2.677.422,09 \\ &= Rp 1.619.711.386,73 /tahun \end{aligned}$$

Jadi total biaya sistem pada kondisi riil perusahaan adalah **Rp 2.040.275.675,52** Untuk rekapitulasi hasil perhitungan kondisi riil perusahaan dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Perhitungan Kondisi Riil Perusahaan

Variabel	Perhitungan Riil
Ukuran lot pemesanan sarimbit batik (unit)	137,00
Ukuran lot pemesanan blues pria batik (unit)	586,25
Ukuran lot pemesanan blues wanita batik (unit)	578,58
Total ukuran lot pemesanan (unit)	1.301,83
Total berat aktual (kg)	650,92
Lead time (hari)	29
Safety factor	0,25
Total biaya Titin Batik (Rp/tahun)	420.564.288,79
Total biaya El-Rahma (Rp/tahun)	1.619.711.386,73
Total biaya Sistem (Rp/tahun)	2.040.275.675,52

4.2.2 Perhitungan Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)

Pada perhitungannya selanjutnya akan dilakukan perhitungan model modifikasi dari model dasar Wangsa dan Wee (2017). Model ini adalah model acuan untuk pengembangan model selanjutnya. Model dasar ini telah dimodifikasi dengan asumsi

proses produksinya tidak sempurna dan adanya *rework*. Sehingga data-data parameter dapat dimasukkan dalam model dasar ini untuk mengetahui total biaya sistem antara El-Rahma Batik dan Titin Batik. Total biaya sistem pada model dasar mempertimbangkan adanya percepatan *lead time*.

Langkah pertama : Mulai tentukan $m = 1$.

Langkah kedua :

1. Perhitungan Tanpa crashing lead time ($L_0 = 29$ hari)

Pada Iterasi ke-1

a. Mulai dari $k_{00} = 0$, $\Psi(k_{00}) = 0,3989$, $\varphi(k_{00}) = 0,3989$ dan $\Phi(k_{00}) = 0,5$.

b. Substitusi $\Psi(k_{00})$ kemudian hitung Q_{01} pada Pers. (2.20).

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\}}{h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] + gmD\theta}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + [330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)] 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,3989 \right\}}{57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right] + 41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,00040}}$$

$$= 923,41 \text{ unit}$$

c. Hitung beban muatan aktual $W_y = 923,41 \times 0,5 = 461,71$ kg dengan kapasitas truk ($W_x = 8.000$), $W_y < W_x$ maka tidak perlu melakukan revisi *lot* pemesanan.

d. Gunakan Q_{01} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{01})$ pada Pers. (2.22).

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{Q h_b}{D[\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] + Q h_b(1 - \beta)}$$

$$= 1 - \frac{923,41 \times 57.201}{15.622[330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)] + 923,41 \times 57.201(1 - 0,25)}$$

$$= 0,97789$$

e. Tentukan k_{01} , $\varphi(k_{01})$ dan $\Psi(k_{01})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{01} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{01})] = 2,011$$

$$\varphi(k_{01}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{01}^2}{2} \right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-2,011^2}{2} \right)} = 0,05271$$

$$\begin{aligned}\Psi(k_{01}) &= \varphi(k_{01}) - k_{01}[1 - \Phi(k_{01})] \\ &= 0,05271 - 2,011 \times [1 - 0,97789] = 0,00822\end{aligned}$$

Pada Iterasi ke-2

- a. Substitusi $\Psi(k_{01})$ kemudian hitung Q_{02} pada Pers. (2.20).

$$\begin{aligned}Q^* &= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + [330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)]35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,00822 \right\}}{57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right] + 41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,00040}} \\ &= 670,52 \text{ unit}\end{aligned}$$

- b. Hitung beban muatan aktual $W_y = 670,52 \times 0,5 = 335,26$ dengan kapasitas truk ($W_x = 8.000$), $W_y < W_x$ maka tidak perlu melakukan revisi *lot* pemesanan.

- c. Gunakan Q_{02} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{02})$ pada Pers. (2.22).

$$\begin{aligned}\Phi(k^*) &= 1 - \frac{670,52 \times 57.201}{15.622[330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)] + 670,52 \times 57.201(1 - 0,25)} \\ &= 0,98387\end{aligned}$$

- d. Tentukan k_{02} , $\varphi(k_{02})$ dan $\Psi(k_{02})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{02} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{02})] = 2,1412$$

$$\varphi(k_{02}) = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-2,1412^2}{2} \right)} = 0,0403$$

$$\begin{aligned}\Psi(k_{02}) &= \varphi(k_{02}) - k_{02}[1 - \Phi(k_{02})] \\ &= 0,0403 - 2,1412 \times [1 - 0,98387] = 0,00577\end{aligned}$$

Pada Iterasi ke-3

- a. Substitusi $\Psi(k_{02})$ kemudian hitung Q_{03} pada Pers. (2.20).

$$\begin{aligned}Q^* &= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + [330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)]35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,00577 \right\}}{57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right] + 41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,00040}} \\ &= 668,63 \text{ unit}\end{aligned}$$

- b. Cek beban muatan aktual $W_y = 668,63 \times 0,5 = 334,31$ dengan kapasitas truk ($W_x = 8.000$), $W_y < W_x$ maka tidak perlu melakukan revisi *lot* pemesanan.

- c. Gunakan Q_{03} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{03})$ pada Pers. (2.22).

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{668,63 \times 57.201}{15.622[330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)] + 668,63 \times 57.201(1 - 0,25)}$$

$$= 0,98392$$

- d. Tentukan k_{03} , $\varphi(k_{03})$ dan $\Psi(k_{03})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{03} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{02})] = 2,1423$$

$$\varphi(k_{03}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 3,14} e^{\left(\frac{-2,1423^2}{2}\right)} = 0,04021$$

$$\Psi(k_{03}) = \varphi(k_{03}) - k_{03}[1 - \Phi(k_{03})]$$

$$= 0,04021 - 2,1423 \times [1 - 0,98392] = 0,00575$$

Pada Iterasi ke-4

- a. Substitusi $\Psi(k_{03})$ kemudian hitung Q_{04} pada Pers. (2.20).

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + [330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)]35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,00575 \right\} + [0,0035 \times 183 \times 8.000 + 8.625 \times 0,395](2 \times 4,5 + 213,5)}{57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right] + 41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,00040}}$$

$$= 668,62 \text{ unit}$$

- b. Hitung beban muatan aktual $668,62 \times 0,5 = 334,31$ dengan kapasitas truk ($W_x = 8.000$), $W_y < W_x$ maka tidak perlu melakukan revisi *lot* pemesanan.

- c. Gunakan Q_{04} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{04})$ pada Pers. (2.22).

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{668,62 \times 57.201}{15.622[330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)] + 668,62 \times 57.201(1 - 0,25)}$$

$$= 0,98392$$

- d. Tentukan k_{04} , $\varphi(k_{04})$ dan $\Psi(k_{04})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{04} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{04})] = 2,1423$$

$$\varphi(k_{04}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 3,14} e^{\left(\frac{-2,1423^2}{2}\right)} = 0,04021$$

$$\Psi(k_{04}) = \varphi(k_{04}) - k_{04}[1 - \Phi(k_{04})]$$

$$= 0,04021 - 2,1423 \times [1 - 0,98392] = 0,00575$$

Pada Iterasi ke-5

- a. Substitusi $\Psi(k_{04})$ kemudian hitung Q_{05} pada Pers. (2.20).

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + [330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)]35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,00575 \right\} + [0,0035 \times 183 \times 8.000 + 8.625 \times 0,395](2 \times 4,5 + 213,5)}{57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right] + 41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,00040}}$$

$$= 668,62 \text{ unit}$$

- b. Hitung beban muatan aktual $668,62 \times 0,5 = 334,31$ dengan kapasitas truk ($W_x = 8.000$), $W_y < W_x$ maka tidak perlu melakukan revisi *lot* pemesanan.
- c. Gunakan Q_{04} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{05})$ pada Pers. (2.22).

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{668,62 \times 57.201}{15.622[330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)] + 668,62 \times 57.201(1 - 0,25)}$$

$$= 0,98392$$

- d. Tentukan k_{05} , $\varphi(k_{05})$ dan $\Psi(k_{05})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{05} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{04})] = 2,1423$$

$$\varphi(k_{05}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \times 3,14} e^{\left(\frac{-2,1423^2}{2} \right)} = 0,04021$$

$$\Psi(k_{05}) = \varphi(k_{04}) - k_{04}[1 - \Phi(k_{04})]$$

$$= 0,04021 - 2,1423 \times [1 - 0,98392] = 0,00575$$

- e. Hitung $JTEC_0$ pada Pers. (2.19).

$$JTEC_0(668,62; 2,14; 29; 1) = 547.704.109,92$$

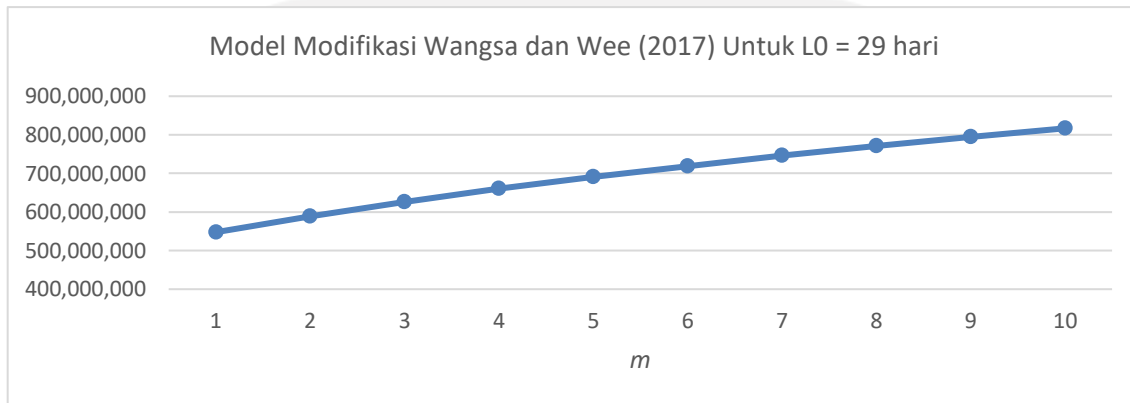
Selanjutnya berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *lead time* $L_0 = 29$ hari pada model modifikasi Wangsa dan Wee (2017) adalah seperti Tabel 4.8 dan Gambar 4.9 sebagai berikut:

Tabel 4.8 Rangkuman Perhitungan Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk $L_0 = 29$ Hari

L	Q^*	W_y^*	Actual Satisfied	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m)$	$JTEC$
29	668,62	334,31	Satisfied	2,14	1	405.947.247,52	141.756.862,40	547.704.109,92
29	433,60	216,80	Satisfied	2,31	2	431.647.202,61	157.145.340,70	588.792.543,31
29	341,12	170,56	Satisfied	2,40	3	453.863.941,32	172.435.746,05	626.299.687,37
29	289,35	144,67	Satisfied	2,46	4	473.183.896,97	186.849.720,32	660.033.617,30
29	255,38	127,69	Satisfied	2,50	5	490.409.331,50	200.386.501,93	690.795.833,43

L	Q^*	W_y^*	Actual Satisfies	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m)$	JTEC
29	230,99	115,50	Satisfied	2,54	6	506.067.062,58	213.144.858,44	719.211.921,02
29	212,41	106,20	Satisfied	2,57	7	520.504.576,43	225.226.760,44	745.731.336,87
29	197,65	98,83	Satisfied	2,59	8	533.961.159,12	236.720.453,03	770.681.612,15
29	185,58	92,79	Satisfied	2,61	9	546.608.566,65	247.699.316,24	794.307.882,89
29	175,47	87,73	Satisfied	2,63	10	558.574.500,69	258.223.966,19	816.798.466,88

← JTEC minimum



Gambar 4.9 Proses Iterasi m Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk $L_0 = 29$ hari

Dari Tabel 4.8 dan Gambar 4.9 dapat dijelaskan bahwa pada $L_0 = 29$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* sebesar 1 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 668,62 unit; *safety factor* 2,14 kali; dengan JTEC minimum adalah **Rp. 547.704.109,92/tahun**.

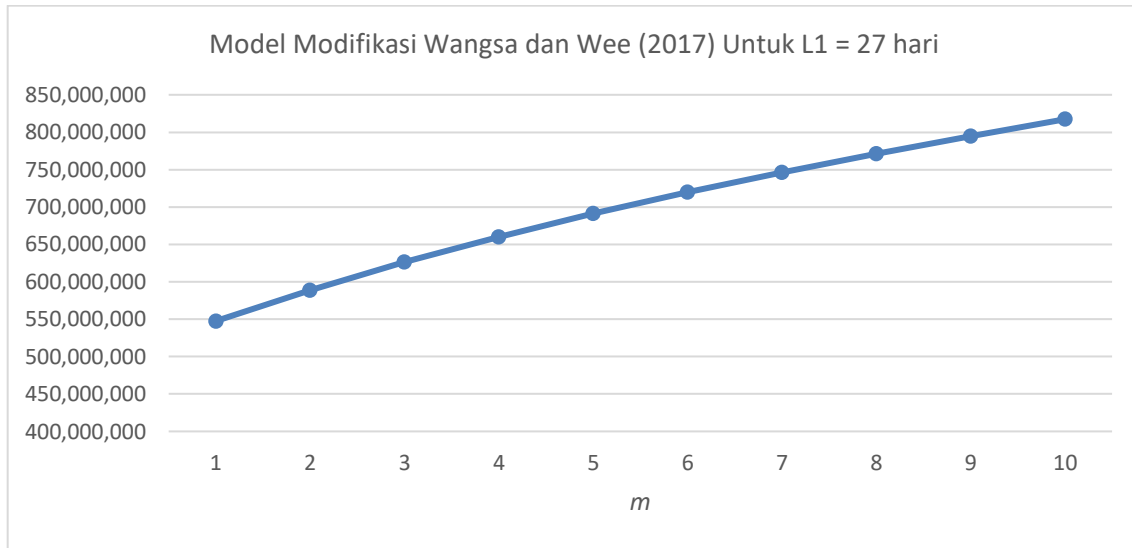
2. Perhitungan dengan *crashing lead time* ($L_1 = 27$ hari)

Selanjutnya berikut rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *crashing lead time* $L_1 = 27$ hari pada model modifikasi Wangsa dan Wee (2017) pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.10:

Tabel 4.9 Rangkuman Perhitungan Model Modifikasi Untuk $L_1 = 27$ Hari

L	Q^*	W_y^*	Actual Satisfies	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m)$	JTEC
27	669,17	334,59	Satisfied	2,14	1	405.782.463,37	141.790.931,39	547.573.394,76
27	434,12	217,06	Satisfied	2,31	2	431.526.114,17	157.240.440,68	588.766.554,85
27	341,59	170,79	Satisfied	2,40	3	453.776.826,14	172.582.783,98	626.359.610,12
27	289,78	144,89	Satisfied	2,46	4	473.126.239,58	187.041.303,90	660.167.543,48
27	255,78	127,89	Satisfied	2,50	5	490.378.336,35	200.617.268,77	690.995.605,12
27	231,36	115,68	Satisfied	2,54	6	506.060.733,23	213.410.815,95	719.471.549,18
27	212,76	106,38	Satisfied	2,56	7	520.521.369,94	225.524.829,53	746.046.199,48
27	197,99	98,99	Satisfied	2,59	8	533.999.824,02	237.048.184,52	771.048.008,54
27	185,90	92,95	Satisfied	2,61	9	546.668.054,71	248.054.711,44	794.722.766,15
27	175,77	87,89	Satisfied	2,63	10	558.653.913,61	258.605.359,28	817.259.272,89

← JTEC minimum



Gambar 4.10 Proses Iterasi m Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk $L_1 = 27$ hari

Dari Tabel 4.9 dan Gambar 4.10 dapat dijelaskan bahwa pada $L_1 = 27$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* sebesar 1 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 669,17 unit; *safety factor* 2,14 kali; dengan *JTEC* minimum adalah **Rp. 547.573.394,76/tahun**.

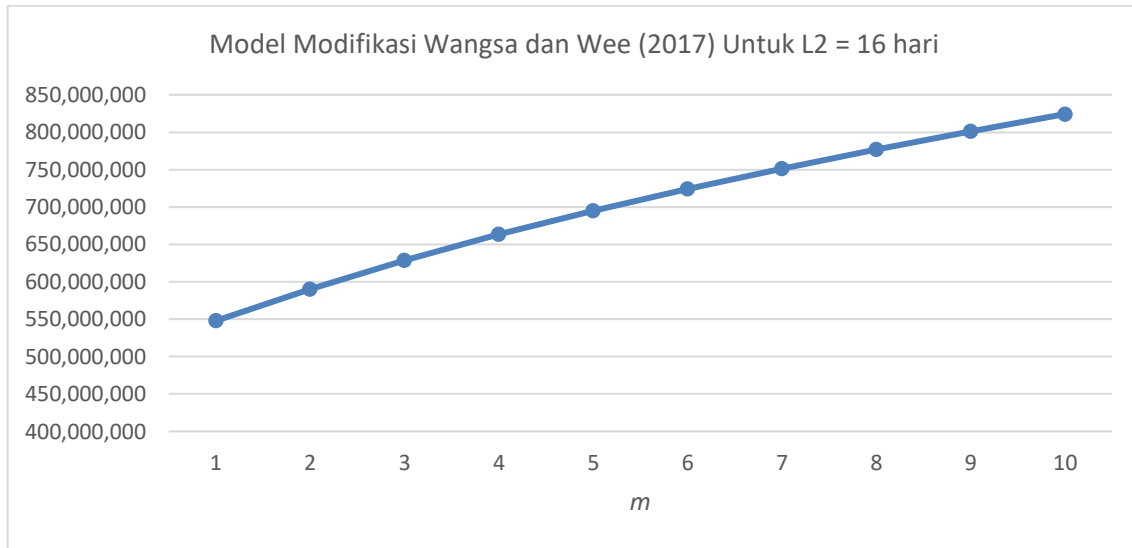
3. Perhitungan dengan *crashing lead time* ($L_2 = 16$ hari)

Berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *crashing lead time* $L_2 = 16$ hari pada model modifikasi Wangsa dan Wee (2017) pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.11 sebagai berikut:

Tabel 4.10 Rangkuman Perhitungan Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk $L_2 = 16$ Hari

L	Q^*	W_y^*	Actual Satisfied	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m)$	JTEC
16	675,96	337,98	Satisfied	2,14	1	405.611.811,97	142.213.164,47	547.824.976,44 [←]
16	440,15	220,08	Satisfied	2,30	2	431.901.907,48	158.354.919,54	590.256.827,01
16	346,97	173,48	Satisfied	2,39	3	454.563.585,07	174.273.014,34	628.836.599,41
16	294,66	147,33	Satisfied	2,45	4	474.262.952,55	189.221.254,70	663.484.207,25
16	260,28	130,14	Satisfied	2,49	5	491.828.055,33	203.226.205,59	695.054.260,92
16	235,55	117,78	Satisfied	2,53	6	507.797.573,82	216.404.103,77	724.201.677,59
16	216,70	108,35	Satisfied	2,56	7	522.525.651,45	228.868.307,19	751.393.958,64
16	201,71	100,86	Satisfied	2,58	8	536.255.800,23	240.714.813,89	776.970.614,12
16	189,44	94,72	Satisfied	2,60	9	549.162.686,80	252.022.503,67	801.185.190,47
16	179,16	89,58	Satisfied	2,62	10	561.376.134,98	262.856.033,61	824.232.168,59

← JTEC minimum



Gambar 4.11 Proses Iterasi m Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk $L_2 = 16$ hari

Dari Tabel 4.10 dan Gambar 4.11 dapat dijelaskan bahwa pada $L_2 = 16$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* sebesar 1 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 675,96 unit; *safety factor* 2,14 kali; dengan *JTEC* minimum adalah **Rp. 547.824.976,44/tahun**.

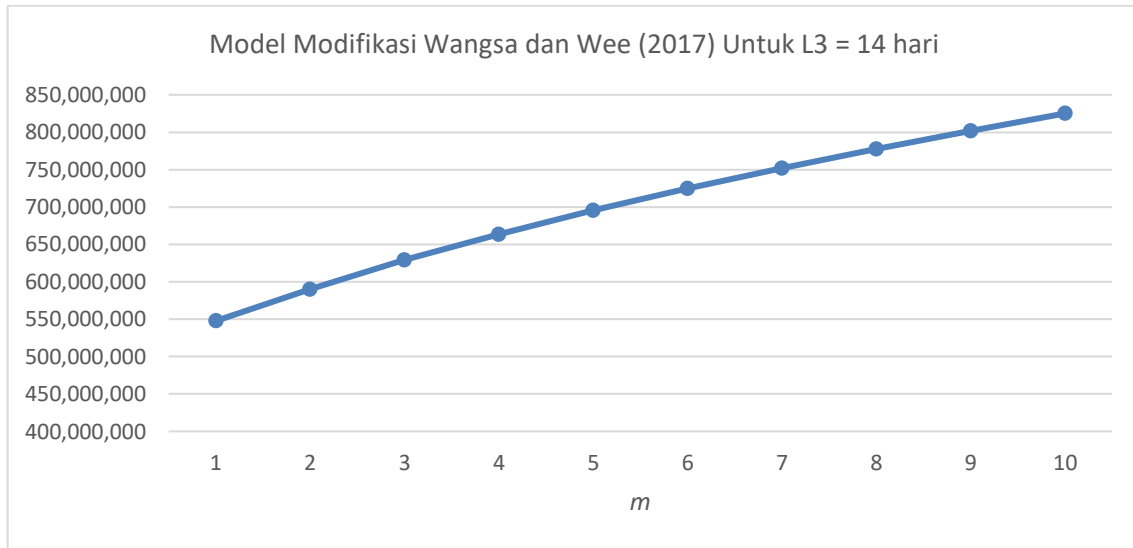
4. Perhitungan dengan *crashing lead time* ($L_3 = 14$ hari)

Berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *crashing lead time* $L_3 = 14$ hari pada model modifikasi Wangsa dan Wee (2017) pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.12 sebagai berikut:

Tabel 4.11 Rangkuman Perhitungan Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk $L_3 = 14$ Hari

L	Q^*	W_y^*	Actual Satisfied	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m)$	$JTEC$
14	676,87	338,43	Satisfied	2,14	1	405.426.881,54	142.270.529,98	547.697.411,52 [←]
14	440,99	220,49	Satisfied	2,30	2	431.787.652,96	158.509.880,82	590.297.533,78
14	347,72	173,86	Satisfied	2,39	3	454.503.872,61	174.509.873,52	629.013.746,13
14	295,34	147,67	Satisfied	2,45	4	474.250.377,61	189.527.982,65	663.778.360,26
14	260,91	130,46	Satisfied	2,49	5	491.858.045,64	203.594.233,75	695.452.279,39
14	236,14	118,07	Satisfied	2,53	6	507.866.870,17	216.827.109,22	724.693.979,39
14	217,25	108,63	Satisfied	2,56	7	522.631.739,99	229.341.439,03	751.973.179,02
14	202,24	101,12	Satisfied	2,58	8	536.396.646,20	241.234.226,41	777.630.872,61
14	189,95	94,97	Satisfied	2,60	9	549.336.589,34	252.585.065,54	801.921.654,88
14	179,64	89,82	Satisfied	2,62	10	561.581.639,28	263.459.139,11	825.040.778,39

← *JTEC* minimum



Gambar 4.12 Proses Iterasi m Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk $L_3 = 14$ hari

Dari Tabel 4.11 dan Gambar 4.12 dapat dijelaskan bahwa pada $L_3 = 14$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* sebesar 1 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 676,87 unit; *safety factor* 2,14 kali; dengan *JTEC* minimum adalah **Rp. 547.697.411,52/tahun**.

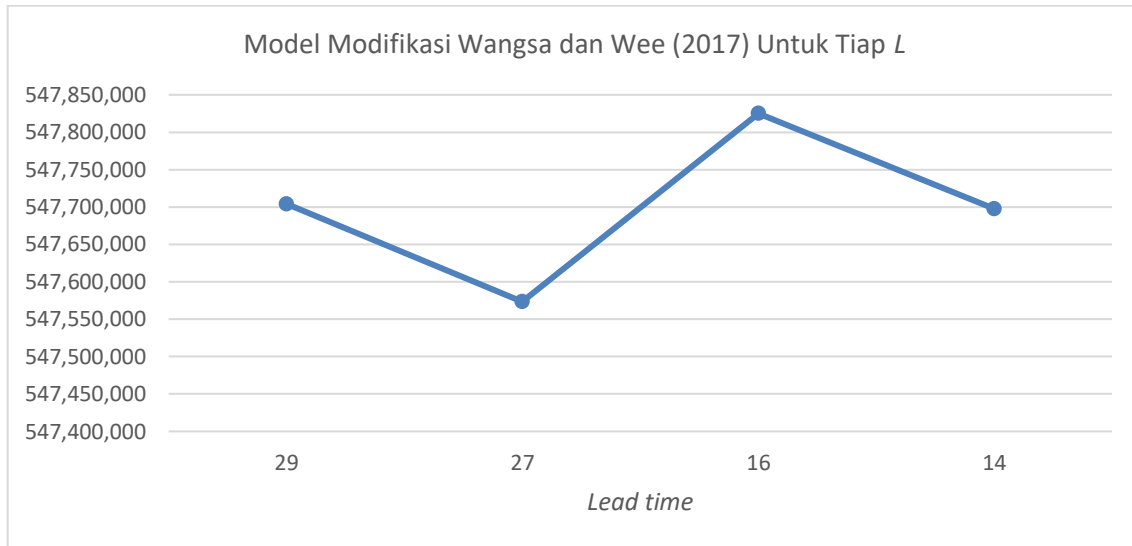
5. Rangkuman Perhitungan Untuk Tiap *Lead time* Pada Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)

Dari hasil perhitungan tiap *lead time*, berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap *lead time* pada model modifikasi Wangsa dan Wee (2017) seperti pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.13 sebagai berikut:

Tabel 4.12 Rangkuman Perhitungan Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Untuk Tiap *Lead time*

L	Q^*	W_y^*	<i>Actual Satisfies</i>	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m)$	<i>JTEC</i>
29	668,62	334,31	Satisfied	2,14	1	405.947.247,52	141.756.862,40	547.704.109,92
27	669,17	334,59	Satisfied	2,14	1	405.782.463,37	141.790.931,39	547.573.394,76 [←]
16	675,96	337,98	Satisfied	2,14	1	405.611.811,97	142.213.164,47	547.824.976,44
14	676,87	338,43	Satisfied	2,14	1	405.426.881,54	142.270.529,98	547.697.411,52

← *JTEC* minimum



Gambar 4.13 Rangkuman Tiap *Lead Time* Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)

Dari Tabel 4.12 dan Gambar 4.13 dapat dijelaskan bahwa pada lead time optimal pada $L_1 = 27$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* sebesar 1 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 669,17 unit; *safety factor* 2,14 kali. Sehingga total biaya sistem pada model modifikasi Wangsa dan Wee (2017) adalah **Rp 547.573.394,76**. Untuk rekapitulasi hasil perhitungan model modifikasi Wangsa dan Wee (2017) dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Perhitungan Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)

Variabel	Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)
Ukuran lot pemesanan sarimbit batik (unit)	70,42
Ukuran lot pemesanan blues pria batik (unit)	301,34
Ukuran lot pemesanan blues wanita batik (unit)	297,40
Total ukuran <i>lot</i> pemesanan (unit)	669,17
Total berat aktual (kg)	334,59
<i>Lead time</i> (hari)	27
<i>Safety factor</i>	2,14
Jumlah pengiriman (kali)	1
Total biaya Titin Batik (Rp/tahun)	405.782.463,37
Total biaya El-Rahma (Rp/tahun)	141.790.931,39
Total biaya Sistem (Rp/tahun)	547.573.394,76

4.2.3 Perhitungan Model I

Prosedur untuk mencari solusi pada Model I adalah sebagai berikut:

Langkah pertama : Tentukan $m = 1$.

Langkah kedua :

1. Perhitungan Tanpa crashing lead time ($L_0 = 29$ hari)

Pada Iterasi ke-1

- Mulai dari $\theta_{00} = \theta_0$ dan $k_{00} = 0$ (dimana $\Psi(k_{00}) = 0,3989$, $\varphi(k_{00}) = 0,3989$ dan $\Phi(k_{00}) = 0,5$).
- Substitusi θ_{00} dan $\Psi(k_{00})$ kemudian hitung Q_{00} pada Persamaan (3.9).

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\}}{gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right]}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + [330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)] 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,3989 \right.}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,00040 + 57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right] \left. + [0,0035 \times 183 \times 8.000 + 8.625 \times 0,395] (2 \times 4,5 + 213,5) \right\}}{}}$$

$$= 923,41 \text{ unit}$$

- Hitung beban muatan aktual $W_y = 923,41 \times 0,5 = 461,71$ dengan kapasitas truk, $W_y < W_x$ yaitu $461,71 < 8.000$ sehingga tidak perlu melakukan revisi lot pemesanan.
- Gunakan Q_{00} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{01})$ pada Persamaan (3.11) dan θ_{01} pada Persamaan (3.17).

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{Qh_b}{D[\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] + Qh_b(1 - \beta)}$$

$$= 1 - \frac{923,41 \times 57.201}{15.622[330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)] + 923,41 \times 57.201(1 - 0,25)}$$

$$= 0,97789$$

$$\theta^* = \frac{2tn}{gmDQ}$$

$$\theta_{01}^* = \frac{2 \times 0,115 \times 46.969.696,97}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 923,41} = 0,000018203$$

- e. Tentukan k_{01} , $\varphi(k_{01})$ dan $\Psi(k_{01})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{01} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{01})] = 2,0119871$$

$$\varphi(k_{01}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{01}^2}{2}\right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-2,0119871^2}{2}\right)} = 0,05271$$

$$\begin{aligned}\Psi(k_{01}) &= \varphi(k_{01}) - k_{01}[1 - \Phi(k_{01})] \\ &= 0,05271 - 2,0119871 \times [1 - 0,97789] = 0,00822\end{aligned}$$

Pada Iterasi ke-2

- a. Substitusi θ_{01} dan $\Psi(k_{01})$ kemudian hitung Q_{01} pada Persamaan (3.9).

$$= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + [330.000 \times 0,25 + 90.511 (1 - 0,25)] 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,00822 \right\}}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,000018203 + 57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right]}}$$

$$= 1.320,91 \text{ unit}$$

- b. Hitung beban muatan aktual $W_y = 1.320,91 \times 0,5 = 660,45$ dengan kapasitas truk, $W_y < W_x$ adalah $660,45 < 8.000$ sehingga tidak perlu melakukan revisi lot pemesanan.

- c. Gunakan Q_{01} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{02})$ pada Persamaan (3.11) dan θ_{01} pada Persamaan (3.17).

$$\begin{aligned}&= 1 - \frac{1.320,91 \times 57.201}{15.622[330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)] + 1.320,91 \times 57.201(1 - 0,25)} \\ &= 0,9686\end{aligned}$$

$$\theta^* = \frac{2 \times 0,115 \times 57.142.857,14}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 1.320,91} = 0,000012725$$

- d. Tentukan k_{02} , $\varphi(k_{02})$ dan $\Psi(k_{02})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{02} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{02})] = 1,8605446$$

$$\varphi(k_{02}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{02}^2}{2}\right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-1,8605446^2}{2}\right)} = 0,07067$$

$$\begin{aligned}\Psi(k_{02}) &= \varphi(k_{02}) - k_{02}[1 - \Phi(k_{02})] \\ &= 0,07067 - 1,8605446 \times [1 - 0,9686] = 0,01224\end{aligned}$$

Pada Iterasi ke-3

- a. Substitusi θ_{02} dan $\Psi(k_{02})$ kemudian hitung Q_{03} pada Persamaan (3.9).

$$= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + [330.000 \times 0,25 + 90.511 (1 - 0,25)] 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,01224 \right\} + [0,0035 \times 183 \times 8.000 + 8.625 \times 0,395] (2 \times 4,5 + 213,5)}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,000012725 + 57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right]}}$$

= 1.355,29 unit

- b. Hitung beban muatan aktual $W_y = 1.355,29 \times 0,5 = 677,64$ dengan kapasitas truk, $W_y < W_x$ adalah $677,64 < 8.000$ sehingga tidak perlu melakukan revisi lot pemesanan.

- c. Gunakan Q_{03} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{03})$ pada Persamaan (3.11) dan θ_{03} pada Persamaan (3.17).

$$= 1 - \frac{1.355,29 \times 57.201}{15.622 [330.000 \times 0,25 + 90.511 (1 - 0,25)] + 1.355,29 \times 57.201 (1 - 0,25)}$$

= 0,9678

$$\theta^* = \frac{2 \times 0,115 \times 46.969.696,97}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 1.355,29} = 0,000012402$$

- d. Tentukan k_{03} , $\varphi(k_{03})$ dan $\Psi(k_{03})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{03} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{03})] = 1,8493748$$

$$\varphi(k_{03}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{03}^2}{2}\right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-1,8493748^2}{2}\right)} = 0,07215$$

$$\Psi(k_{03}) = \varphi(k_{03}) - k_{03} [1 - \Phi(k_{03})]$$

$$= 0,07215 - 1,8493748 \times [1 - 0,9678] = 0,01259$$

Pada Iterasi ke-4

- a. Substitusi θ_{03} dan $\Psi(k_{03})$ kemudian hitung Q_{04} pada Persamaan (3.9).

$$= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + [330.000 \times 0,25 + 90.511 (1 - 0,25)] 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,01259 \right\} + [0,0035 \times 183 \times 8.000 + 8.625 \times 0,395] (2 \times 4,5 + 213,5)}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,000012402 + 57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right]}}$$

= 1.357,56 unit

- b. Hitung beban muatan aktual $W_y = 1.357,56 \times 0,5 = 678,78$ dengan kapasitas truk, $W_y < W_x$ adalah $678,78 < 8.000$ sehingga tidak perlu melakukan revisi lot pemesanan.
- c. Gunakan Q_{04} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{04})$ pada Persamaan (3.11) dan θ_{04} pada Persamaan (3.17).

$$= 1 - \frac{1.357,56 \times 57.201}{15.622[330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)] + 1.357,56 \times 57.201(1 - 0,25)}$$

$$= 0,96775$$

$$\theta^* = \frac{2 \times 0,115 \times 46.969.696,97}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 1.357,56} = 0,000012382$$

- d. Tentukan k_{04} , $\varphi(k_{04})$ dan $\Psi(k_{04})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{04} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{04})] = 1,8486449$$

$$\varphi(k_{04}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{04}^2}{2}\right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-1,8486449^2}{2}\right)} = 0,07225$$

$$\Psi(k_{04}) = \varphi(k_{04}) - k_{04}[1 - \Phi(k_{04})]$$

$$= 0,07225 - 1,8486449 \times [1 - 0,96775] = 0,01262$$

Pada Iterasi ke-5

- a. Substitusi θ_{04} dan $\Psi(k_{04})$ kemudian hitung Q_{05} pada Persamaan (3.9).

$$= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + [330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)]35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,01262 \right\}}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,000012382 + 57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right]}}$$

$$= 1.357,71 \text{ unit}$$

- b. Hitung beban muatan aktual $W_y = 1.357,71 \times 0,5 = 678,85$ dengan kapasitas truk, $W_y < W_x$ adalah $678,85 < 8.000$ sehingga tidak perlu melakukan revisi lot pemesanan.
- c. Gunakan Q_{05} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{05})$ pada Persamaan (3.11) dan θ_{05} pada Persamaan (3.17).

$$= 1 - \frac{1.357,71 \times 57.201}{15.622[330.000 \times 0,25 + 90.511(1 - 0,25)] + 1.357,71 \times 57.201(1 - 0,25)}$$

$$= 0,96774$$

$$\theta^* = \frac{2 \times 0,115 \times 46.969.696,97}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 1.357,71} = 0,000012380$$

- d. Tentukan k_{05} , $\varphi(k_{05})$ dan $\Psi(k_{05})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{05} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{05})] = 1,8485975$$

$$\varphi(k_{05}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{05}^2}{2}\right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-1,8485975^2}{2}\right)} = 0,07225$$

$$\Psi(k_{05}) = \varphi(k_{05}) - k_{05}[1 - \Phi(k_{05})]$$

$$= 0,07225 - 1,8485975 \times [1 - 0,96774] = 0,01262$$

- e. Hitung $JTEC_1$ pada Pers. (3.3).

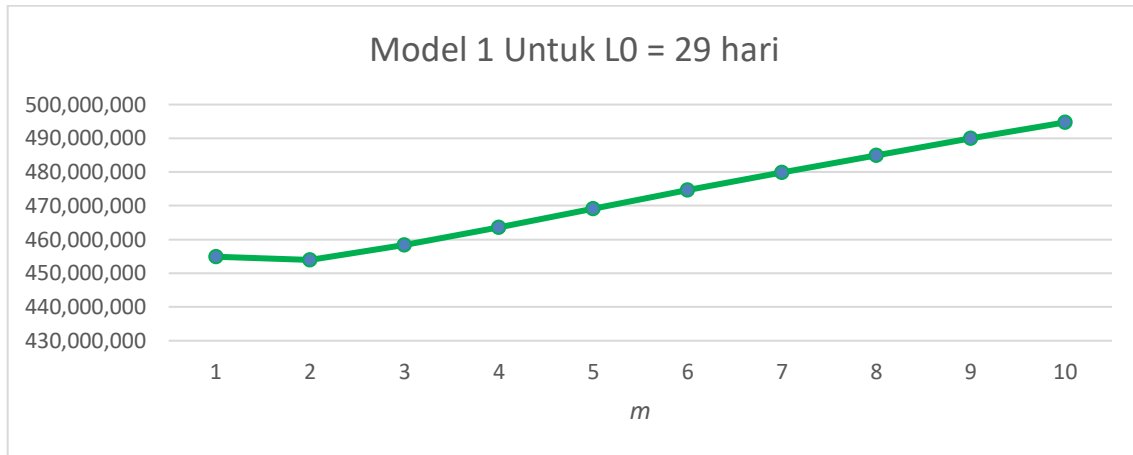
$$JTEC_1(1.357,71; 1,8485975; 0,000012380; 29; 1) = 454.827.194,60$$

Selanjutnya berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *lead time*, $L_0 = 29$ hari untuk model I adalah seperti Tabel 4.14 dan Gambar 4.14 sebagai berikut:

Tabel 4.14 Rangkuman Perhitungan Model I Untuk $L_0 = 29$ Hari

L	Q^*	W_y^*	<i>Actual Satisfied</i>	θ^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m,\theta)$	$JTEC$
29	1.357,71	678,85	Satisfied	0,000012380	1,85	1	394.797.372,16	60.029.822,44	454.827.194,60
29	1.081,47	540,74	Satisfied	0,000007771	1,95	2	394.633.026,21	59.315.644,85	453.948.671,06€
29	948,40	474,20	Satisfied	0,000005908	2,00	3	396.118.095,60	62.202.169,69	458.320.265,29
29	861,80	430,90	Satisfied	0,000004876	2,04	4	397.942.822,46	65.722.141,21	463.664.963,67
29	798,09	399,05	Satisfied	0,000004212	2,07	5	399.869.729,22	69.296.182,55	469.165.911,77
29	748,04	374,02	Satisfied	0,000003745	2,10	6	401.823.417,83	72.768.831,31	474.592.249,14
29	707,09	353,55	Satisfied	0,000003396	2,12	7	403.772.758,66	76.098.248,20	479.871.006,86
29	672,63	336,31	Satisfied	0,000003124	2,14	8	405.703.092,94	79.278.995,17	484.982.088,10
29	643,03	321,51	Satisfied	0,000002904	2,16	9	407.607.138,06	82.317.969,99	489.925.108,05
29	617,20	308,60	Satisfied	0,000002723	2,17	10	409.481.322,32	85.225.899,56	494.707.221,88

← JTEC minimum



Gambar 4.14 Proses Iterasi m Model I Untuk $L_0 = 29$ hari

Dari Tabel 4.14 dan Gambar 4.14 dapat dijelaskan bahwa pada $L_0 = 29$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* optimal sebesar 2 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 1.081,47 unit; *safety factor* 1,95 kali; probabilitas *out-of-control* 0,00007771 dengan *JTEC* minimum adalah **Rp. 453.948.671,06/tahun**.

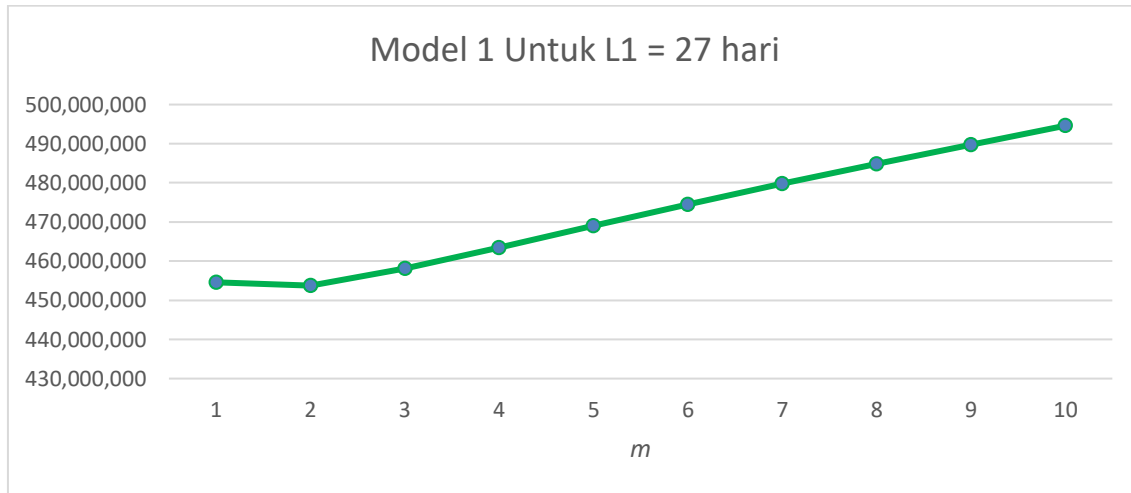
2. Perhitungan dengan *crashing lead time* ($L_1 = 27$ hari)

Selanjutnya berikut rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *crashing lead time* $L_1 = 27$ hari pada model I pada Tabel 4.15 dan Gambar 4.15:

Tabel 4.15 Rangkuman Perhitungan Model I Untuk $L_1 = 27$ Hari

L	Q^*	W_y^*	Actual Satisfied	θ^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m,\theta)$	<i>JTEC</i>
27	1.358,49	679,24	Satisfied	0,000012373	1,85	1	394.590.814,82	60.025.032,26	454.615.847,08
27	1.082,45	541,23	Satisfied	0,000007764	1,95	2	394.432.310,47	59.321.884,68	453.754.195,15 [←]
27	949,43	474,72	Satisfied	0,000005901	2,00	3	395.919.671,67	62.219.297,36	458.138.969,03
27	862,84	431,42	Satisfied	0,000004870	2,04	4	397.746.017,51	65.749.094,35	463.495.111,86
27	799,12	399,56	Satisfied	0,000004207	2,07	5	399.674.439,68	69.332.030,88	469.006.470,55
27	749,06	374,53	Satisfied	0,000003740	2,10	6	401.629.683,36	72.812.822,03	474.442.505,39
27	708,08	354,04	Satisfied	0,000003391	2,12	7	403.580.652,46	76.149.769,41	479.730.421,88
27	673,60	336,80	Satisfied	0,000003119	2,14	8	405.512.689,22	79.337.541,20	484.850.230,42
27	643,98	321,99	Satisfied	0,000002900	2,16	9	407.418.502,35	82.383.115,77	489.801.618,12
27	618,13	309,06	Satisfied	0,000002719	2,17	10	409.294.509,35	85.297.282,33	494.591.791,69

← *JTEC* minimum



Gambar 4.15 Proses Iterasi m Model I Untuk $L_1 = 27$ hari

Dari Tabel 4.15 dan Gambar 4.15 dapat dijelaskan bahwa pada $L_1 = 27$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* optimal sebesar 2 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 1.082,45 unit; *safety factor* 1,95 kali; probabilitas *out-of-control* 0,000007764 dengan *JTEC* minimum adalah **Rp. 453.754.195,15/tahun**.

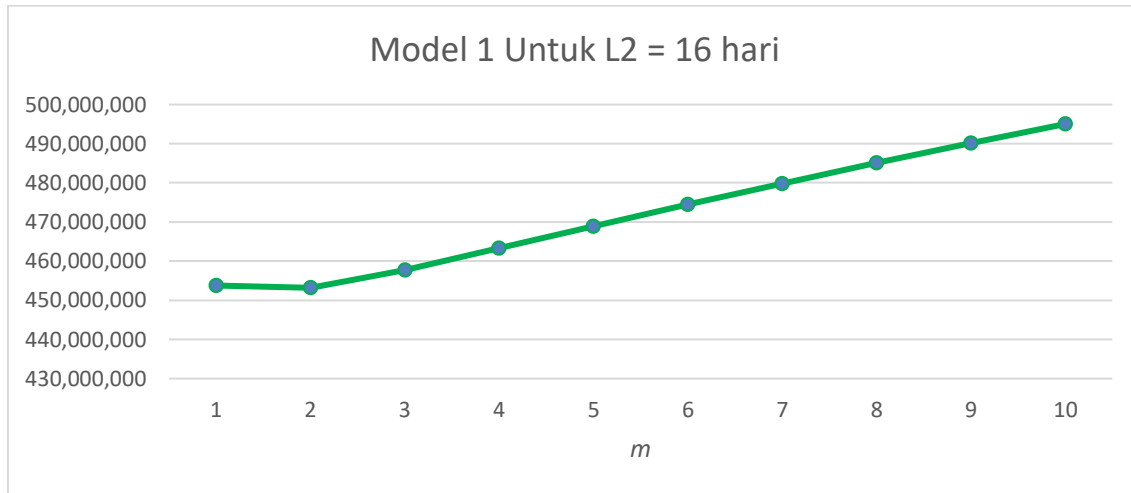
3. Perhitungan dengan *crashing lead time* ($L_2 = 16$ hari)

Selanjutnya berikut rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *crashing lead time* $L_2 = 16$ hari pada model I pada Tabel 4.16 dan Gambar 4.16:

Tabel 4.16 Rangkuman Perhitungan Model I Untuk $L_2 = 16$ Hari

L	Q^*	W_y^*	<i>Actual Satisfies</i>	θ^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m,\theta)$	<i>JTEC</i>
16	1.370,37	685,19	Satisfied	0,000012266	1,84	1	393.857.663,74	59.953.807,06	453.811.470,80
16	1.095,82	547,91	Satisfied	0,000007669	1,94	2	393.780.548,45	59.409.221,57	453.189.770,02 [*]
16	962,92	481,46	Satisfied	0,000005819	1,99	3	395.304.000,43	62.445.537,71	457.749.538,14
16	876,10	438,05	Satisfied	0,000004796	2,03	4	397.157.731,90	66.095.160,86	463.252.892,76
16	812,03	406,02	Satisfied	0,000004140	2,06	5	399.111.703,88	69.783.835,44	468.895.539,32
16	761,60	380,80	Satisfied	0,000003678	2,09	6	401.092.369,29	73.359.790,85	474.452.160,14
16	720,26	360,13	Satisfied	0,000003334	2,11	7	403.069.057,69	76.783.690,24	479.852.747,93
16	685,43	342,71	Satisfied	0,000003065	2,13	8	405.027.16476	80.051.838,45	485.079.003,22
16	655,48	327,74	Satisfied	0,000002849	2,15	9	406.959.342,85	83.172.391,18	490.131.734,03
16	629,32	314,66	Satisfied	0,000002671	2,17	10	408.861.927,51	86.157.013,10	495.018.940,61

← *JTEC* minimum



Gambar 4.16 Proses Iterasi m Model I Untuk $L_2 = 16$ hari

Dari Tabel 4.16 dan Gambar 4.16 dapat dijelaskan bahwa pada $L_2 = 16$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* optimal sebesar 2 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 1.095,82 unit; *safety factor* 1,94 kali; probabilitas *out-of-control* 0,000007669 dengan *JTEC* minimum adalah **Rp. 453.189.770,02/tahun**.

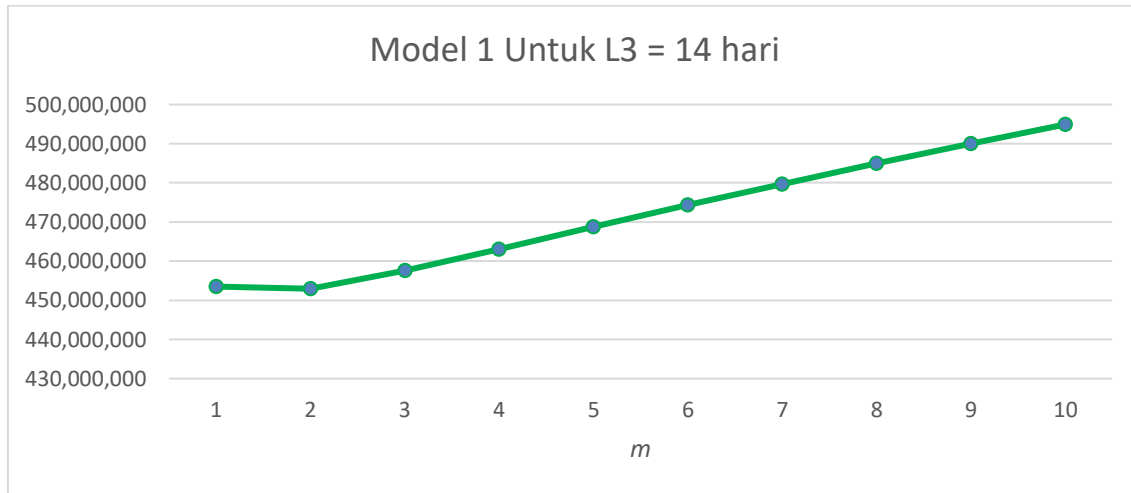
4. Perhitungan dengan *crashing lead time* ($L_3 = 14$ hari)

Berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *crashing lead time* $L_3 = 14$ hari pada model I pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.17 sebagai berikut:

Tabel 4.17 Rangkuman Perhitungan Model I Untuk $L_3 = 14$ Hari

L	Q^*	W_y^*	<i>Actual Satisfies</i>	θ^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m,\theta)$	<i>JTEC</i>
14	1,371.76	685.88	Satisfied	0.000012253	1.84	1	393,602,703.15	59,945,703.73	453,548,406.88
14	1,097.48	548.74	Satisfied	0.000007658	1.94	2	393,535,195.32	59,420,341.08	452,955,536.40 [←]
14	964.64	482.32	Satisfied	0.000005808	1.99	3	395,062,591.59	62,474,615.52	457,537,207.11
14	877.81	438.90	Satisfied	0.000004787	2.03	4	396,919,224.73	66,140,142.04	463,059,366.77
14	813.72	406.86	Satisfied	0.000004131	2.06	5	398,875,934.54	69,843,073.85	468,719,008.39
14	763.25	381.62	Satisfied	0.000003670	2.09	6	400,859,388.63	73,432,001.46	474,291,390.09
14	721.87	360.94	Satisfied	0.000003326	2.11	7	402,838,964.93	76,867,849.41	479,706,814.34
14	687.00	343.50	Satisfied	0.000003058	2.13	8	404,800,059.33	80,147,111.25	484,947,170.58
14	657.02	328.51	Satisfied	0.000002843	2.15	9	406,735,310.66	83,278,082.26	490,013,392.92
14	630.82	315.41	Satisfied	0.000002665	2.17	10	408,641,038.31	86,272,533.11	494,913,571.42

← *JTEC* minimum



Gambar 4.17 Proses Iterasi m Model I Untuk $L_3 = 14$ hari

Dari Tabel 4.17 dan Gambar 4.17 dapat dijelaskan bahwa pada $L_3 = 14$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* optimal sebesar 2 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 1.097,48 unit; *safety factor* 1,94 kali; probabilitas *out-of-control* 0,000007658 dengan *JTEC* minimum adalah **Rp. 452.955.536,40/tahun.**

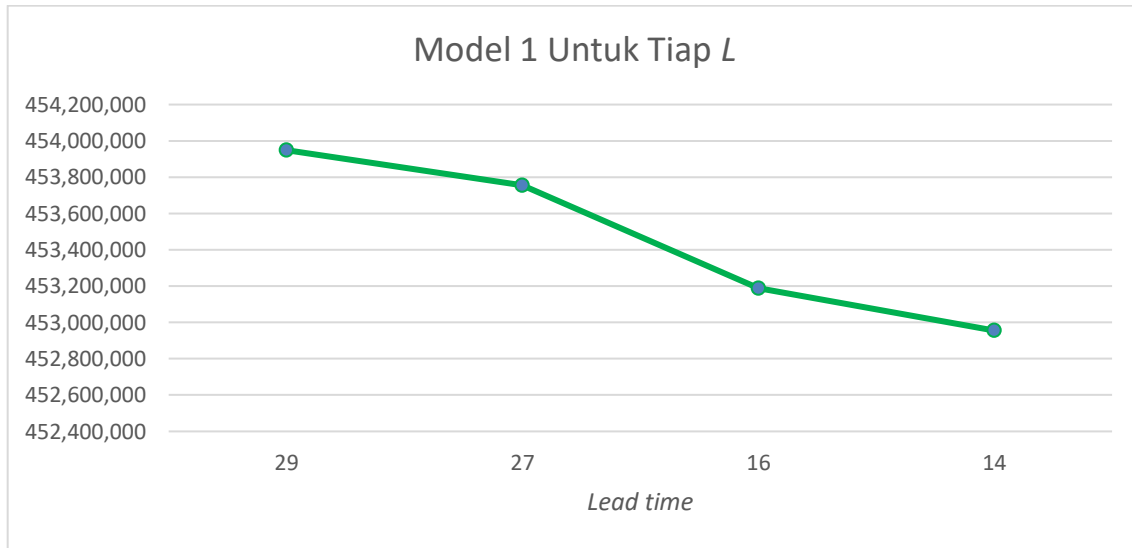
5. Rangkuman Perhitungan Untuk Tiap *Lead time* Pada Model I

Dari hasil perhitungan tiap *lead time*, berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap *lead time* pada model I seperti pada Tabel 4.18 dan Gambar 4.18 sebagai berikut:

Tabel 4.18 Rangkuman Perhitungan Model I Untuk Tiap *Lead time*

L	Q^*	W_y^*	<i>Actual Satisfies</i>	θ^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m,\theta)$	<i>JTEC</i>
29	1,081.47	540.74	Satisfied	0.000007771	1.95	2	394,633,026.21	59,315,644.85	453,948,671.06
27	1,082.45	541.23	Satisfied	0.000007764	1.95	2	394,432,310.47	59,321,884.68	453,754,195.15
16	1,095.82	547.91	Satisfied	0.000007669	1.94	2	393,780,548.45	59,409,221.57	453,189,770.02
14	1,097.48	548.74	Satisfied	0.000007658	1.94	2	393,535,195.32	59,420,341.08	452,955,536.40 [←]

← *JTEC* minimum



Gambar 4.18 Rangkuman Tiap *Lead Time* Model I

Dari Tabel 4.18 dan Gambar 4.18 dapat dijelaskan bahwa pada lead time optimal pada $L_3 = 14$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* optimal sebesar 2 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 1.097,48 unit; *safety factor* 1,94 kali; probabilitas *out-of-control* 0,000007658. Sehingga total biaya sistem pada model 1 adalah **Rp 452.955.536,40**. Untuk rekapitulasi hasil perhitungan model 1 dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Perhitungan Model I

Variabel	Model I
Ukuran lot pemesanan sarimbit batik (unit)	115,49
Ukuran lot pemesanan blues pria batik (unit)	494,22
Ukuran lot pemesanan blues wanita batik (unit)	487,76
Total ukuran <i>lot</i> pemesanan (unit)	1.097,48
Total berat aktual (kg)	548,74
<i>Lead time</i> (hari)	14
<i>Safety factor</i>	1,94
Jumlah pengiriman (kali)	2
Probabilitas <i>out-of-control</i>	0,000007658
Total biaya Titin Batik (Rp/tahun)	393.535.195,32
Total biaya El-Rahma (Rp/tahun)	59.420.341,08
Total biaya Sistem (Rp/tahun)	452.955.536,40

4.2.4 Perhitungan Model II

Prosedur untuk mencari solusi pada Model II adalah sebagai berikut:

Langkah pertama : Tentukan $m = 1$.

Langkah kedua :

1. Perhitungan Tanpa crashing lead time ($L_0 = 29$ hari)

Pada Iterasi ke-1

- Mulai dari $\theta_{00} = \theta_0$, $\pi_{x00} = \pi_0$ dan $k_{00} = 0$ (dimana $\Psi(k_{00}) = 0,3989$, $\varphi(k_{00}) = 0,3989$ dan $\Phi(k_{00}) = 0,5$).
- Substitusi θ_{00} , π_{x00} dan $\Psi(k_{00})$ kemudian hitung Q_{01} pada Persamaan (3.19).

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\}}{gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right]}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + \left[\frac{330.000^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 330.000 \times 0,25 \right] 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,3989 \right\}}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,00040 + 57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right]}}$$

= 1.134,14 unit

- Hitung beban muatan aktual $W_y = 1.134,14 \times 0,5 = 567,07$ dengan kapasitas truk, $W_y < W_x$ yaitu $567,07 < 8.000$ sehingga tidak perlu melakukan revisi lot pemesanan.
- Gunakan Q_{01} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{01})$ pada Persamaan (3.21), θ_{01} pada Persamaan (3.27) dan π_{x01} pada Persamaan (3.29).

$$\pi_x^* = \frac{\pi_0}{2} + \frac{h_b Q}{2D}$$

$$= \frac{90.511}{2} + \frac{57.201 \times 1.134,14}{2 \times 15.622} = 47.331,86$$

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{Q h_b}{D \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] + Q h_b \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right)}$$

$$= 1 - \frac{1.134,14 \times 57.201}{15.622 \left[\frac{47.331,86^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 47.331,86 \times 0,25 \right] + 1.134,14 \times 57.201 \left(1 - \frac{47.331,86 \times 0,25}{90.511} \right)}$$

$$= 0,95306$$

$$\theta^* = \frac{2tn}{gmDQ}$$

$$\theta_{01}^* = \frac{2 \times 0,115 \times 46.969.696,97}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 1.134,14} = 0,000014821$$

- e. Tentukan k_{01} , $\varphi(k_{01})$ dan $\Psi(k_{01})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{01} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{01})] = 1,6753151$$

$$\varphi(k_{01}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{01}^2}{2}\right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-1,6753151^2}{2}\right)} = 0,09805$$

$$\begin{aligned}\Psi(k_{01}) &= \varphi(k_{01}) - k_{01}[1 - \Phi(k_{01})] \\ &= 0,09805 - 1,6753151 \times [1 - 0,95306] = 0,01942\end{aligned}$$

Pada Iterasi ke-2

- a. Substitusi θ_{01} , π_{x01} dan $\Psi(k_{01})$, kemudian hitung Q_{02} pada Persamaan (3.19).

$$= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + \left[\frac{47.331,86^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 47.331,86 \times 0,25 \right] 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,01942 \right\} + [0,0035 \times 183 \times 8.000 + 8.625 \times 0,395](2 \times 4,5 + 213,5)}}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,000014821 + 57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right]}}$$

$$= 1.342,28 \text{ unit}$$

- b. Hitung beban muatan aktual $W_y = 1.342,28 \times 0,5 = 671,14$ dengan kapasitas truk, $W_y < W_x$ yaitu $671,14 < 8.000$ sehingga tidak perlu melakukan revisi lot pemesanan.

- c. Gunakan Q_{02} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{02})$ pada Persamaan (3.21), θ_{02} pada Persamaan (3.27) dan π_{x02} pada Persamaan (3.29)

$$\pi_x^* = \frac{\pi_0}{2} + \frac{h_b Q}{2D}$$

$$\pi_x^* = \frac{90.511}{2} + \frac{57.201 \times 1.342,28}{2 \times 15.622} = 47.712,93$$

$$\begin{aligned}&= 1 - \frac{1.342,28 \times 57.201}{15.622 \left[\frac{47.712,93^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 47.712,93 \times 0,25 \right] + 1.134,14 \times 57.201 \left(1 - \frac{47.712,93 \times 0,25}{90.511} \right)} \\ &= 0,94486\end{aligned}$$

$$\theta_{02}^* = \frac{2 \times 0,115 \times 46.969.696,97}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 1.342,28} = 0,000012522$$

- d. Tentukan k_{02} , $\varphi(k_{02})$ dan $\Psi(k_{02})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{02} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{02})] = 1,5969558$$

$$\varphi(k_{02}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{02}^2}{2}\right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-1,5969558^2}{2}\right)} = 0,11146$$

$$\begin{aligned}\Psi(k_{02}) &= \varphi(k_{02}) - k_{02}[1 - \Phi(k_{02})] \\ &= 0,11146 - 1,5969558 \times [1 - 0,94486] = 0,02341\end{aligned}$$

Pada Iterasi ke-3

- a. Substitusi θ_{02} , π_{x02} dan $\Psi(k_{02})$, kemudian hitung Q_{03} pada Persamaan (3.19).

$$\begin{aligned}&= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + \left[\frac{47.712,93^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 47.712,93 \times 0,25 \right] 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,02341 \right\}}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,000012522 + 57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right]}} \\ &= 1.357,87 \text{ unit}\end{aligned}$$

- b. Hitung beban muatan aktual $W_y = 1.357,87 \times 0,5 = 678,93$ dengan kapasitas truk, $W_y < W_x$ yaitu $678,93 < 8.000$ sehingga tidak perlu melakukan revisi lot pemesanan.

- c. Gunakan Q_{03} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{03})$ pada Persamaan (3.21), θ_{03} pada Persamaan (3.27) dan π_{x03} pada Persamaan (3.29)

$$\begin{aligned}\pi_x^* &= \frac{90.511}{2} + \frac{57.201 \times 1.357,87}{2 \times 15.622} = 47.741,46 \\ &= 1 - \frac{1.357,87 \times 57.201}{15.622 \left[\frac{47.741,46^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 47.741,46 \times 0,25 \right] + 1.134,14 \times 57.201 \left(1 - \frac{47.741,46 \times 0,25}{90.511} \right)} \\ &= 0,94425\end{aligned}$$

$$\theta_{03}^* = \frac{2 \times 0,115 \times 46.969.696,97}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 1.357,87} = 0,000012379$$

- d. Tentukan k_{03} , $\varphi(k_{03})$ dan $\Psi(k_{03})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{03} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{03})] = 1,5915153$$

$$\varphi(k_{03}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{03}^2}{2}\right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-1,5915153^2}{2}\right)} = 0,11243$$

$$\Psi(k_{03}) = \varphi(k_{03}) - k_{03}[1 - \Phi(k_{03})]$$

$$= 0,11243 - 1,5915153 \times [1 - 0,94425] = 0,02371$$

Pada Iterasi ke-4

- a. Substitusi θ_{03} , π_{x03} dan $\Psi(k_{03})$, kemudian hitung Q_{04} pada Persamaan (3.19).

$$= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + \left[\frac{47.741,46^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 47.741,46 \times 0,25 \right] 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,02371 \right\}}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,000012379 + 57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right]}}$$

$$= 1.358,90 \text{ unit}$$

- b. Hitung beban muatan aktual $W_y = 1.358,90 \times 0,5 = 679,45$ dengan kapasitas truk, $W_y < W_x$ yaitu $679,45 < 8.000$ sehingga tidak perlu melakukan revisi lot pemesanan.

- c. Gunakan Q_{04} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{04})$ pada Persamaan (3.21), θ_{04} pada Persamaan (3.27) dan π_{x04} pada Persamaan (3.29)

$$\pi_x^* = \frac{90.511}{2} + \frac{57.201 \times 1.358,90}{2 \times 15.622} = 47.743,35$$

$$= 1 - \frac{1.358,90 \times 57.201}{15.622 \left[\frac{47.743,35^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 47.743,35 \times 0,25 \right] + 1.134,14 \times 57.201 \left(1 - \frac{47.743,35 \times 0,25}{90.511} \right)}$$

$$= 0,94421$$

$$\theta_{04}^* = \frac{2 \times 0,115 \times 46.969.696,97}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 1.358,90} = 0,000012369$$

- d. Tentukan k_{04} , $\varphi(k_{04})$ dan $\Psi(k_{04})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{04} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{04})] = 1,5911567$$

$$\varphi(k_{04}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{04}^2}{2}\right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-1,5911567^2}{2}\right)} = 0,1125$$

$$\Psi(k_{04}) = \varphi(k_{04}) - k_{04}[1 - \Phi(k_{04})]$$

$$= 0,1125 - 1,5911567 \times [1 - 0,94421] = 0,02373$$

Pada Iterasi ke-5

- a. Substitusi θ_{04} , π_{x04} dan $\Psi(k_{04})$, kemudian hitung Q_{05} pada Persamaan (3.19).

$$= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + \left[\frac{47.743,35^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 47.743,35 \times 0,25 \right] 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,02373 \right\}}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,000012369 + 57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right]}}$$

$$= 1.358,90 \text{ unit}$$

- b. Hitung beban muatan aktual $W_y = 1.358,90 \times 0,5 = 679,45$ dengan kapasitas truk, $W_y < W_x$ yaitu $679,45 < 8.000$ sehingga tidak perlu melakukan revisi lot pemesanan.

- c. Gunakan Q_{05} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{05})$ pada Persamaan (3.21), θ_{05} pada Persamaan (3.27) dan π_{x05} pada Persamaan (3.29)

$$\pi_x^* = \frac{90.511}{2} + \frac{57.201 \times 1.358,90}{2 \times 15.622} = 47.743,35$$

$$= 1 - \frac{1.358,90 \times 57.201}{15.622 \left[\frac{47.743,35^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 47.743,35 \times 0,25 \right] + 1.134,14 \times 57.201 \left(1 - \frac{47.743,35 \times 0,25}{90.511} \right)}$$

$$= 0,94421$$

$$\theta_{05}^* = \frac{2 \times 0,115 \times 46.969.696,97}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 1.358,90} = 0,000012369$$

- d. Tentukan k_{05} , $\varphi(k_{05})$ dan $\Psi(k_{05})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{05} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{05})] = 1,5911567$$

$$\varphi(k_{05}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{05}^2}{2} \right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-1,5911567^2}{2} \right)} = 0,1125$$

$$\Psi(k_{05}) = \varphi(k_{05}) - k_{05}[1 - \Phi(k_{05})]$$

$$= 0,1125 - 1,5911567 \times [1 - 0,94421] = 0,02373$$

- e. Hitung $JTEC_2$ pada Pers. (3.5)

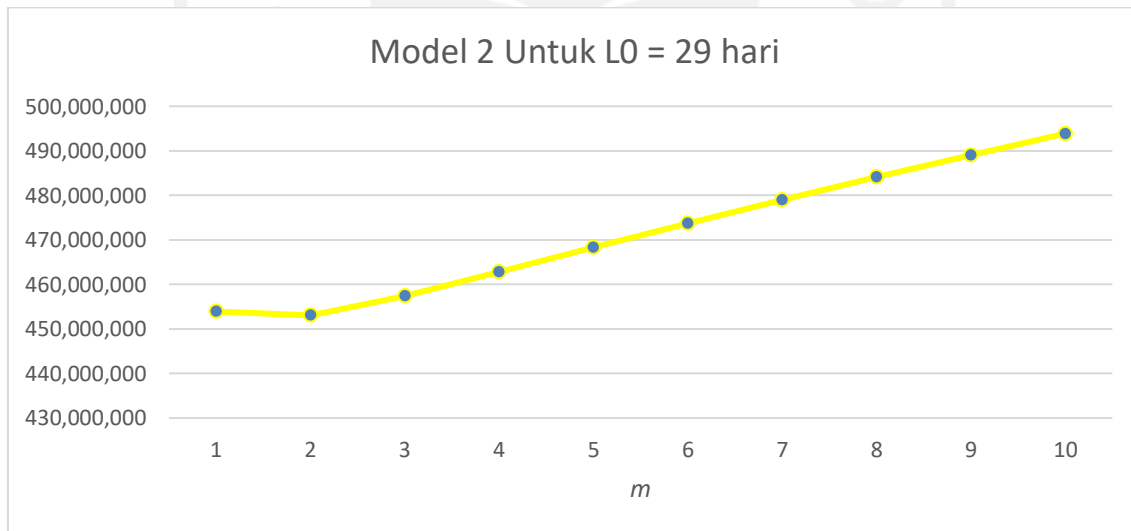
$$JTEC_2(1.358,90; 1,5911567; 0,000012369; 0,000012369; 29; 1) = 453.901.618,08$$

Selanjutnya berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *lead time*, $L_0 = 29$ hari untuk model II adalah seperti Tabel 4.20 dan Gambar 4.19 sebagai berikut:

Tabel 4.20 Rangkuman Perhitungan Model II Untuk $L_0 = 29$ Hari

L	Q^*	W_y^*	<i>Actual Satisfied</i>	θ^*	π_x^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L,\pi_x)$	$TEC_v(Q,m,\theta)$	$JTEC$
29	1.358,97	679,48	Satisfied	0,000012369	47.743,47	1,59	1	393.879.524,00	60.022.094,09	453.901.618,08
29	1.082,50	541,25	Satisfied	0,000007764	47.237,32	1,70	2	393.722.462,36	59.322.186,70	453.044.649,06 ^c
29	949,27	474,63	Satisfied	0,000005902	46.993,40	1,76	3	395.211.965,75	62.216.529,18	457.428.94,93
29	862,55	431,27	Satisfied	0,000004872	46.834,64	1,80	4	397.040.522,36	65.741.492,14	462.782.014,51
29	798,75	399,37	Satisfied	0,000004209	46.717,83	1,83	5	398.970.964,52	69.318.995,75	468.289.960,27
29	748,63	374,31	Satisfied	0,000003742	46.626,07	1,86	6	400.927.964,98	72.794.175,58	473.722.140,55
29	707,62	353,81	Satisfied	0,000003393	46.550,99	1,88	7	402.880.421,15	76.125.511,75	479.005.932,90
29	673,11	336,55	Satisfied	0,000003121	46.487,81	1,91	8	404.813.691,75	79.307.754,08	484.121.445,83
29	643,47	321,73	Satisfied	0,000002902	46.433,55	1,93	9	406.720.509,03	82.347.918,59	489.068.427,62
29	617,60	308,80	Satisfied	0,000002722	46.386,19	1,94	10	408.597.314,90	85.256.810,50	493.854.125,40

← JTEC minimum



Gambar 4.19 Proses Iterasi m Model II Untuk $L_0 = 29$ hari

Dari Tabel 4.20 dan Gambar 4.19 dapat dijelaskan bahwa pada $L_0 = 29$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* optimal sebesar 2 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 1.082,50 unit; *safety factor* 1,70 kali; probabilitas *out-of-control* 0,000007764; biaya *backorder* Rp 47.237,32/unit dengan *JTEC* minimum adalah **Rp. 453.044.649,06/tahun**.

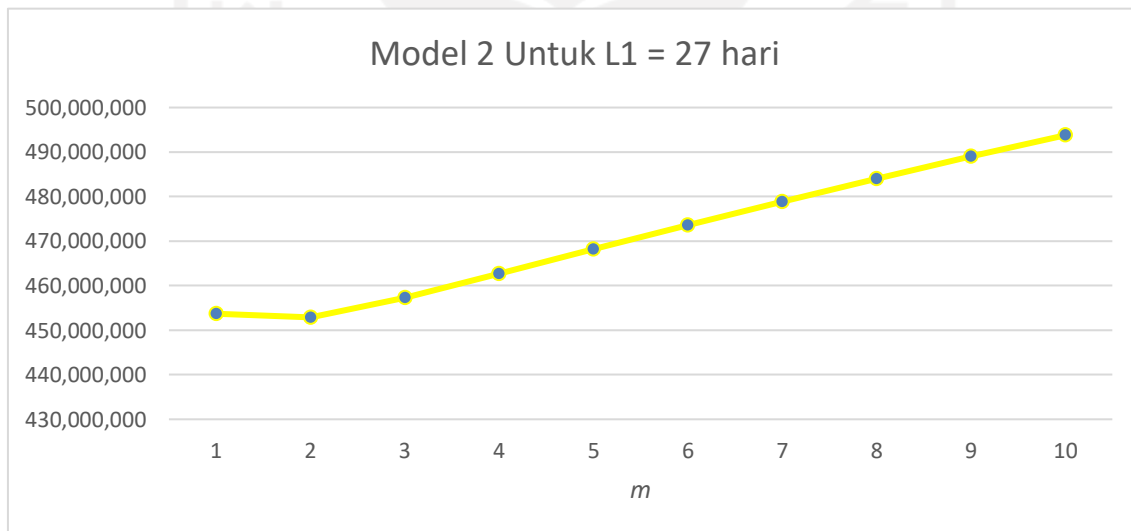
2. Perhitungan dengan *crashing lead time* ($L_1 = 27$ hari)

Berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *crashing lead time* $L_1 = 27$ hari pada model II pada Tabel 4.21 dan Gambar 4.20 sebagai berikut:

Tabel 4.21 Rangkuman Perhitungan Model II Untuk $L_1 = 27$ Hari

L	Q^*	W_y^*	<i>Actual Satisfied</i>	θ^*	π_x^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L,\pi_x)$	$TEC_v(Q,m,\theta)$	$JTEC$
27	1.359,70	679,85	Satisfied	0,000012362	47.744,82	1,59	1	393.705.104,09	60.017.601,69	453.722.705,79
27	1.083,44	541,72	Satisfied	0,000007757	47.239,05	1,70	2	393.553.608,35	59.328.214,44	452.881.822,79€
27	950,27	475,13	Satisfied	0,000005896	46.995,23	1,76	3	395.045.239,24	62.233.163,89	457.278.403,13
27	863,56	431,78	Satisfied	0,000004866	46.836,49	1,80	4	396.875.274,99	65.767.773,19	462.643.048,18
27	799,75	399,88	Satisfied	0,000004203	46.719,67	1,83	5	398.807.104,53	69.354.048,05	468.161.152,59
27	749,62	374,81	Satisfied	0,000003737	46.627,89	1,86	6	400.765.540,74	72.837.279,96	473.602.820,70
27	708,59	354,29	Satisfied	0,000003389	46.552,77	1,88	7	402.719.513,34	76.176.078,36	478.895.591,70
27	674,06	337,03	Satisfied	0,000003117	46.489,56	1,91	8	404.654.381,28	79.365.292,48	484.019.673,75
27	644,40	322,20	Satisfied	0,000002898	46.435,26	1,92	9	406.562.867,50	82.412.014,68	488.974.882,18
27	618,52	309,26	Satisfied	0,000002718	46.387,87	1,94	10	408.441.402,60	85.327.109,65	493.768.512,25

←JTEC minimum



Gambar 4.20 Proses Iterasi m Model II Untuk $L_1 = 27$ hari

Dari Tabel 4.21 dan Gambar 4.20 dapat dijelaskan bahwa pada $L_1 = 27$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* optimal sebesar 2 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 1.083,44 unit; *safety factor* 1,70 kali; probabilitas *out-of-control* 0,000007757; biaya *backorder* Rp 47.239,05/unit dengan $JTEC$ minimum adalah **Rp. 452.881.822,79/tahun**.

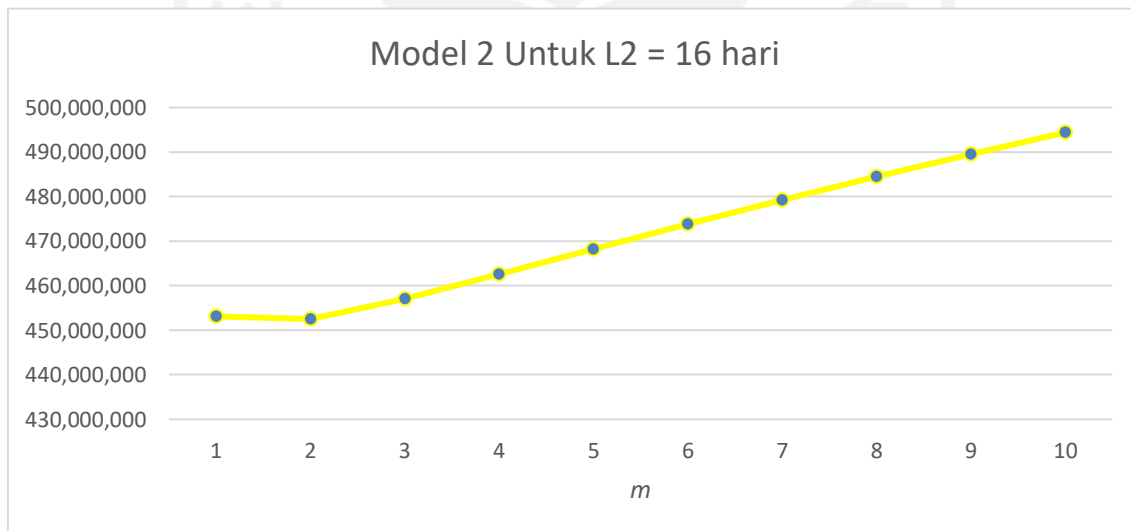
3. Perhitungan dengan *crashing lead time* ($L_2 = 16$ hari)

Berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *crashing lead time* $L_2 = 16$ hari pada model II pada Tabel 4.22 dan Gambar 4.21 sebagai berikut:

Tabel 4.22 Rangkuman Perhitungan Model II Untuk $L_2 = 16$ Hari

L	Q^*	W_y^*	<i>Actual Satisfied</i>	θ^*	π_x^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L,\pi_x)$	$TEC_v(Q,m,\theta)$	$JTEC$
16	1.371,30	685,65	Satisfied	0,000012257	47.766,06	1,59	1	393.174.955,77	59.948.364,48	453.123.320,26
16	1.096,58	548,29	Satisfied	0,000007664	47.263,10	1,69	2	393.103.069,85	59.414.298,65	452.517.368,50 [€]
16	963,56	481,78	Satisfied	0,000005815	47.019,58	1,75	3	394.629.746,05	62.456.363,93	457.086.109,98
16	876,65	438,32	Satisfied	0,000004793	46.860,45	1,79	4	396.486.283,77	66.109.659,12	462.595.942,89
16	812,52	406,26	Satisfied	0,000004137	46.743,04	1,82	5	398.442.856,38	69.800.883,24	468.243.739,63
16	762,03	381,02	Satisfied	0,000003676	46.650,61	1,85	6	400.425.963,39	73.378.704,51	473.804.667,90
16	720,65	360,32	Satisfied	0,000003332	46.574,85	1,88	7	402.404.951,83	76.804.020,30	479.208.972,13
16	685,78	342,89	Satisfied	0,000003064	46.511,02	1,90	8	404.365.228,99	80.073.273,20	484.438.502,19
16	655,80	327,90	Satisfied	0,000002848	46.456,13	1,92	9	406.299.457,43	83.194.705,66	489.494.163,09
16	629,62	314,81	Satisfied	0,000002670	46.408,20	1,93	10	408.203.982,29	86.180.039,86	494.384.022,15

←JTEC minimum



Gambar 4.21 Proses Iterasi m Model II Untuk $L_2 = 16$ hari

Dari Tabel 4.22 dan Gambar 4.21 dapat dijelaskan bahwa pada $L_2 = 16$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* optimal sebesar 2 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 1.096,58 unit; *safety factor* 1,69 kali; probabilitas *out-of-control* 0,000007664; biaya *backorder* Rp 47.263,10/unit dengan $JTEC$ minimum adalah **Rp. 452.517.368,50/tahun**.

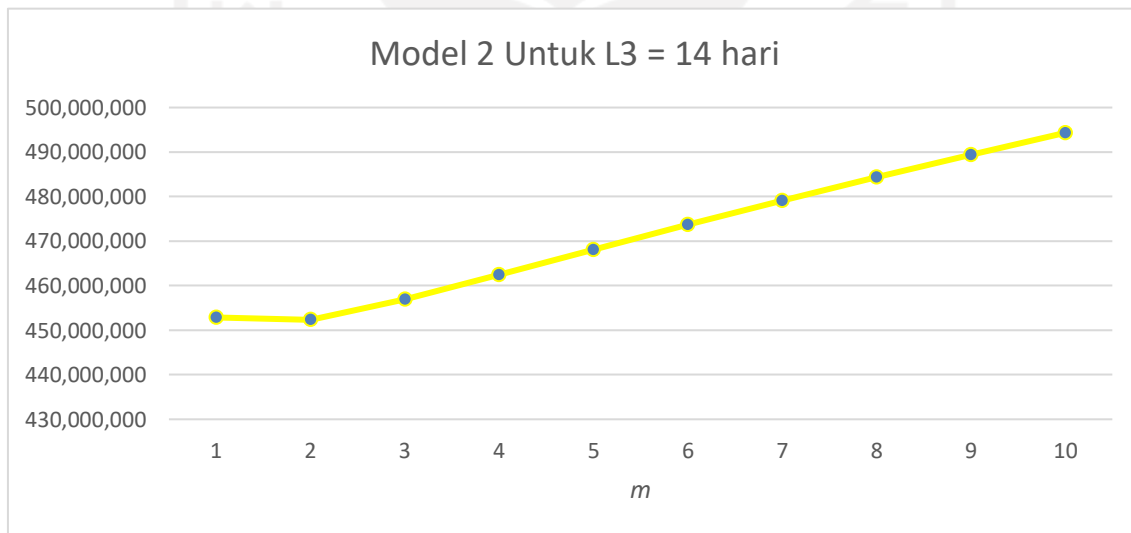
4. Perhitungan dengan crashing lead time ($L_3 = 14$ hari)

Berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *crashing lead time* $L_3 = 14$ hari pada model II pada Tabel 4.23 dan Gambar 4.22 sebagai berikut:

Tabel 4.23 Rangkuman Perhitungan Model II Untuk $L_3 = 14$ Hari

L	Q^*	W_y^*	<i>Actual Satisfied</i>	θ^*	π_x^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q, k, L, \pi_x)$	$TEC_v(Q, m, \theta)$	$JTEC$
14	1.372,63	686,32	Satisfied	0,000012246	47.768,49	1,59	1	392.963.991,23	59.940.644,08	452.904.635,31
14	1.098,19	549,09	Satisfied	0,000007653	47.266,05	1,69	2	392.901.353,22	59.425.111,71	452.326.464,92 [€]
14	965,24	482,62	Satisfied	0,000005805	47.022,65	1,75	3	394.431.756,28	62.484.757,08	456.916.513,36
14	878,33	439,16	Satisfied	0,000004784	46.863,53	1,79	4	396.291.008,89	66.153.714,31	462.444.723,20
14	814,17	407,09	Satisfied	0,000004129	46.746,07	1,82	5	398.250.147,44	69.859.028,45	468.109.175,89
14	763,65	381,83	Satisfied	0,000003668	46.653,58	1,85	6	400.235.882,46	73.449.699,82	473.685.582,29
14	722,24	361,12	Satisfied	0,000003325	46.577,76	1,88	7	402.217.607,88	76.886.871,69	479.104.479,57
14	687,33	343,67	Satisfied	0,000003057	46.513,86	1,90	8	404.180.730,27	80.167.166,25	484.347.896,52
14	657,32	328,66	Satisfied	0,000002841	46.458,91	1,92	9	406.117.897,91	83.298.959,81	489.416.857,71
14	631,10	315,55	Satisfied	0,000002663	46.410,91	1,93	10	408.025.439,10	86.294.076,72	494.319.515,82

←JTEC minimum



Gambar 4.22 Proses Iterasi m Model II Untuk $L_3 = 14$ hari

Dari Tabel 4.23 dan Gambar 4.22 dapat dijelaskan bahwa pada $L_3 = 14$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* optimal sebesar 2 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 1.098,19 unit; *safety factor* 1,69 kali; probabilitas *out-of-control* 0,000007653; biaya *backorder* Rp 47.266,05/unit dengan *JTEC* minimum adalah **Rp. 452.326.464,92/tahun**.

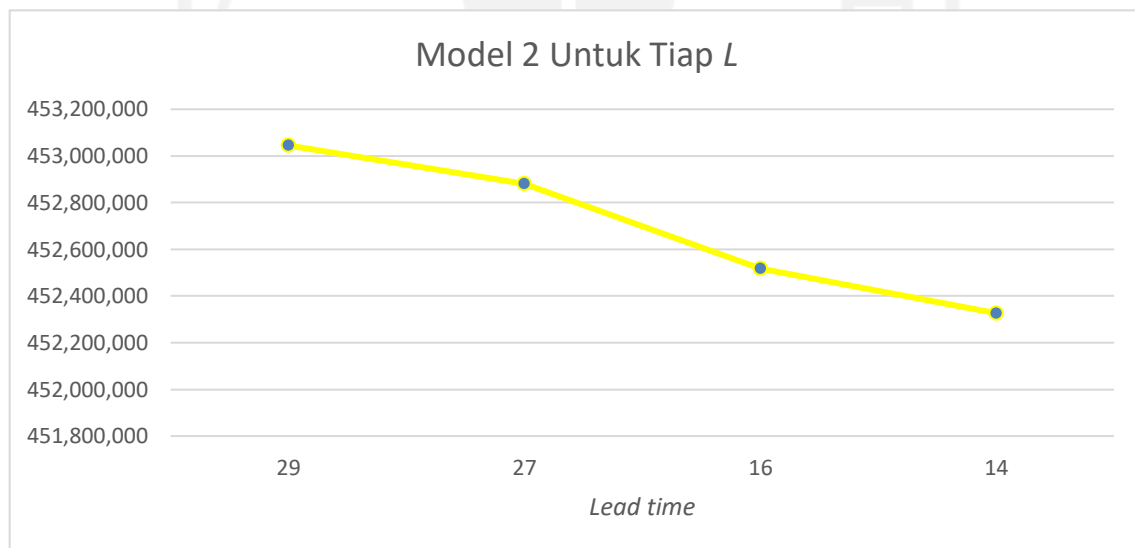
5. Rangkuman Perhitungan Untuk Tiap *Lead time* Pada Model II

Dari hasil perhitungan tiap *lead time*, berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap *lead time* pada model II seperti pada Tabel 4.24 dan Gambar 4.23 sebagai berikut:

Tabel 4.24 Rangkuman Perhitungan Model II Untuk Tiap *Lead time*

L	Q^*	W_y^*	<i>Actual Satisfies</i>	θ^*	π_x^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L,\pi_x)$	$TEC_v(Q,m,\theta)$	$JTEC$
29	1,082.50	541.25	Satisfied	0.000007764	47,237.32	1.70	2	393,722,462.36	59,322,186.70	453,044,649.06
27	1,083.44	541.72	Satisfied	0.000007757	47,239.05	1.70	2	393,553,608.35	59,328,214.44	452,881,822.79
16	1,096.58	548.29	Satisfied	0.000007664	47,263.10	1.69	2	393,103,069.85	59,414,298.65	452,517,368.50
14	1,098.19	549.09	Satisfied	0.000007653	47,266.05	1.69	2	392,901,353.22	59,425,111.71	452,326,464.92 [€]

← JTEC minimum



Gambar 4.23 Rangkuman Tiap *Lead Time* Model II

Dari Tabel 4.24 dan Gambar 4.23 dapat dijelaskan bahwa pada lead time optimal pada $L_3 = 14$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* optimal sebesar 2 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 1.098,19 unit; *safety factor* 1,69 kali; probabilitas *out-of-control* 0,000007653; biaya *backorder* Rp 47.266,05/unit. Sehingga total biaya sistem pada model II adalah **Rp 452.326.464,92**. Untuk rekapitulasi hasil perhitungan model II dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Perhitungan Model II

Variabel	Model II
Ukuran lot pemesanan sarimbit batik (unit)	115,57
Ukuran lot pemesanan blues pria batik (unit)	494,54
Ukuran lot pemesanan blues wanita batik (unit)	488,08
Total ukuran <i>lot</i> pemesanan (unit)	1.098,19
Total berat aktual (kg)	549,09
<i>Lead time</i> (hari)	14
<i>Safety factor</i>	1,69
Jumlah pengiriman (kali)	2
Probabilitas <i>out-of-control</i>	0,000007653
Biaya backorder optimal (Rp/unit)	47.266,05
Total biaya Titin Batik (Rp/tahun)	392.901.353,22
Total biaya El-Rahma (Rp/tahun)	59.425.111,71
Total biaya Sistem (Rp/tahun)	452.326.464,92

4.2.5 Perhitungan Model III

Prosedur untuk mencari solusi pada Model III adalah sebagai berikut:

Langkah pertama : Tentukan $m = 1$.

Langkah kedua :

1. Perhitungan Tanpa crashing *lead time* ($L_0 = 29$ hari)

Pada Iterasi ke-1

- Mulai dari $\theta_{00} = \theta_0$, $\pi_{x00} = \pi_0$, $A_{00} = A_0$, $S_{00} = S_0$ dan $k_{00} = 0$ (dimana $\Psi(k_{00}) = 0,3989$, $\varphi(k_{00}) = 0,3989$ dan $\Phi(k_{00}) = 0,5$).
- Substitusi θ_{00} , π_{x00} , A_{00} , S_{00} dan $\Psi(k_{00})$ kemudian hitung Q_{01} pada Persamaan (3.31).

$$Q^* = \sqrt{\frac{2D \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] \sigma \sqrt{L} \Psi(k) + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \right\}}{gmD\theta + h_b + h_v \left[m \left(1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right]}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 350.000 + \frac{2.155.833}{1} + 0 + 260.000 + \left[\frac{330.000^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 330.000 \times 0,25 \right] 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,3989 \right\}}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,00040 + 57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right]}}$$

$$= 1.134,14 \text{ unit}$$

- c. Hitung beban muatan aktual $W_y = 1.134,14 \times 0,5 = 567,07$ dengan kapasitas truk, $W_y < W_x$ yaitu $567,07 < 8.000$ sehingga tidak perlu melakukan revisi lot pemesanan.
- d. Gunakan Q_{01} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{01})$ pada Persamaan (3.33), θ_{01} pada Persamaan (3.39), π_{x01} pada Persamaan (3.41), S_{01} pada Persamaan (3.43), dan A_{01} pada Persamaan (3.45).

$$\pi_x^* = \frac{\pi_0}{2} + \frac{h_b Q}{2D}$$

$$\pi_{x01}^* = \frac{90.511}{2} + \frac{57.201 \times 1.134,14}{2 \times 15.622} = 47.331,86$$

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{Qh_b}{D \left[\frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right] + Qh_b \left(1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right)}$$

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{1.134,14 \times 57.201}{15.622 \left[\frac{47.331,86^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 47.331,86 \times 0,25 \right] + 1.134,14 \times 57.201 \left(1 - \frac{47.331,86 \times 0,25}{90.511} \right)}$$

$$= 0,95306$$

$$\theta^* = \frac{2tn}{gmDQ}$$

$$\theta_{01}^* = \frac{2 \times 0,115 \times 46.969.696,97}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 1.134,14} = 0,000014821$$

$$S^* = \frac{tbmQ}{D}$$

$$S_{01}^* = \frac{0,115 \times 11.000.000,00 \times 1 \times 1.134,14}{15.622} = 91.837,36$$

$$A^* = \frac{Qta}{D}$$

$$A_{01}^* = \frac{1.134,14 \times 0,115 \times 1.925.096,25}{15.622} = 16.072,34$$

- e. Tentukan k_{01} , $\varphi(k_{01})$ dan $\Psi(k_{01})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{01} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{01})] = 1,6753151$$

$$\varphi(k_{01}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{01}^2}{2} \right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-1,6753151^2}{2} \right)} = 0,09805$$

$$\Psi(k_{01}) = \varphi(k_{01}) - k_{01}[1 - \Phi(k_{01})]$$

$$= 0,09805 - 1,6753151 \times [1 - 0,95306] = 0,01942$$

Pada Iterasi ke-2

- a. Substitusi θ_{01} , π_{x01} , A_{01} , S_{01} dan $\Psi(k_{01})$ kemudian hitung Q_{02} pada Persamaan (3.31).

$$= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 16.072,34 + \frac{91.837,36}{1} + 0 + 260.000 + \left[\frac{47.331,86^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 47.331,86 \times 0,25 \right] 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,01942 \right\}}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,000014821 + 57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right]}}$$

$$= 948,22 \text{ unit}$$

- c. Hitung beban muatan aktual $W_y = 948,22 \times 0,5 = 474,11$ dengan kapasitas truk, $W_y < W_x$ yaitu $474,11 < 8.000$ sehingga tidak perlu melakukan revisi lot pemesanan.
- d. Gunakan Q_{02} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{02})$ pada Persamaan (3.33), θ_{02} pada Persamaan (3.39), π_{x02} pada Persamaan (3.41), S_{02} pada Persamaan (3.43), dan A_{02} pada Persamaan (3.45).

$$\pi_{x01}^* = \frac{90.511}{2} + \frac{57.201 \times 948,22}{2 \times 15.622} = 46.991,49$$

$$\Phi(k^*) = 1 - \frac{948,22 \times 57.201}{15.622 \left[\frac{46.991,49^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 46.991,49 \times 0,25 \right] + 948,22 \times 57.201 \left(1 - \frac{46.991,49 \times 0,25}{90.511} \right)}$$

$$= 0,96049$$

$$\theta_{02}^* = \frac{2 \times 0,115 \times 46.969.696,97}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 948,22} = 0,000017727$$

$$S_{02}^* = \frac{0,115 \times 11.000.000,00 \times 1 \times 948,22}{15.622} = 76.782,64$$

$$A_{02}^* = \frac{948,22 \times 0,115 \times 1.925.096,25}{15.622} = 13.437,63$$

- e. Tentukan k_{02} , $\varphi(k_{02})$ dan $\Psi(k_{02})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{02} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{02})] = 1,7564427$$

$$\varphi(k_{02}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{02}^2}{2} \right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-1,7564427^2}{2} \right)} = 0,08531$$

$$\begin{aligned}\Psi(k_{02}) &= \varphi(k_{02}) - k_{02}[1 - \Phi(k_{02})] \\ &= 0,08531 - 1,7564427 \times [1 - 0,96049] = 0,01592\end{aligned}$$

Pada Iterasi ke-3

- a. Substitusi θ_{02} , π_{x02} , A_{02} , S_{02} dan $\Psi(k_{02})$ kemudian hitung Q_{03} pada Persamaan (3.31).

$$= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 13.437,63 + \frac{76.782,64}{1} + 0 + 260.000 + \left[\frac{46.991,49^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 46.991,49 \times 0,25 \right] 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,01592 \right\} + [0,0035 \times 183 \times 8.000 + 8.625 \times 0,395](2 \times 4,5 + 213,5)}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,000017727 + 57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right]}}$$

$$= 929,99 \text{ unit}$$

- c. Hitung beban muatan aktual $W_y = 929,99 \times 0,5 = 465$ dengan kapasitas truk, $W_y < W_x$ yaitu $465 < 8.000$ sehingga tidak perlu melakukan revisi lot pemesanan.
- d. Gunakan Q_{03} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{03})$ pada Persamaan (3.33), θ_{03} pada Persamaan (3.39), π_{x03} pada Persamaan (3.41), S_{03} pada Persamaan (3.43), dan A_{03} pada Persamaan (3.45).

$$\pi_{x03}^* = \frac{90.511}{2} + \frac{57.201 \times 929,99}{2 \times 15.622} = 46.958,12$$

$$\begin{aligned}\Phi(k^*) &= 1 - \frac{929,99 \times 57.201}{15.622 \left[\frac{46.958,12^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 46.958,12 \times 0,25 \right] + 929,99 \times 57.201 \left(1 - \frac{46.958,12 \times 0,25}{90.511} \right)} \\ &= 0,96123\end{aligned}$$

$$\theta_{03}^* = \frac{2 \times 0,115 \times 46.969.696,97}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 929,99} = 0,000018074$$

$$S_{03}^* = \frac{0,115 \times 11.000.000,00 \times 1 \times 929,99}{15.622} = 75.306,70$$

$$A_{03}^* = \frac{929,99 \times 0,115 \times 1.925.096,25}{15.622} = 13.179,33$$

- e. Tentukan k_{03} , $\varphi(k_{03})$ dan $\Psi(k_{03})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{03} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{03})] = 1,76511$$

$$\varphi(k_{03}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{03}^2}{2} \right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-1,76511^2}{2} \right)} = 0,08402$$

$$\begin{aligned}\Psi(k_{03}) &= \varphi(k_{03}) - k_{03}[1 - \Phi(k_{03})] \\ &= 0,08402 - 1,76511 \times [1 - 0,96123] = 0,01558\end{aligned}$$

Pada Iterasi ke-4

- a. Substitusi θ_{03} , π_{x03} , A_{03} , S_{03} dan $\Psi(k_{03})$ kemudian hitung Q_{04} pada Persamaan (3.31).

$$= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 13.179,33 + \frac{75.306,70}{1} + 0 + 260.000 + \left[\frac{46.958,12^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 46.958,12 \times 0,25 \right] 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,01558 \right\} + [0,0035 \times 183 \times 8.000 + 8.625 \times 0,395](2 \times 4,5 + 213,5)}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,000018074 + 57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right]}}$$

$$= 928,02 \text{ unit}$$

- c. Hitung beban muatan aktual $W_y = 928,02 \times 0,5 = 464,01$ dengan kapasitas truk, $W_y < W_x$ yaitu $464,01 < 8.000$ sehingga tidak perlu melakukan revisi lot pemesanan.
- d. Gunakan Q_{04} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{04})$ pada Persamaan (3.33), θ_{04} pada Persamaan (3.39), π_{x04} pada Persamaan (3.41), S_{04} pada Persamaan (3.43), dan A_{04} pada Persamaan (3.45).

$$\pi_{x04}^* = \frac{90.511}{2} + \frac{57.201 \times 928,02}{2 \times 15.622} = 46.954,50$$

$$\begin{aligned}\Phi(k^*) &= 1 - \frac{928,02 \times 57.201}{15.622 \left[\frac{46.954,50^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 46.954,50 \times 0,25 \right] + 928,02 \times 57.201 \left(1 - \frac{46.954,50 \times 0,25}{90.511} \right)} \\ &= 0,96131\end{aligned}$$

$$\theta_{04}^* = \frac{2 \times 0,115 \times 46.969.696,97}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 928,02} = 0,000018113$$

$$S_{04}^* = \frac{0,115 \times 11.000.000,00 \times 1 \times 928,02}{15.622} = 75.146,60$$

$$A_{04}^* = \frac{928,02 \times 0,115 \times 1.925.096,25}{15.622} = 13.151,31$$

- e. Tentukan k_{04} , $\varphi(k_{04})$ dan $\Psi(k_{04})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{04} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{04})] = 1,7660588$$

$$\varphi(k_{04}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{04}^2}{2}\right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-1,7660588^2}{2}\right)} = 0,08388$$

$$\begin{aligned}\Psi(k_{04}) &= \varphi(k_{04}) - k_{04}[1 - \Phi(k_{04})] \\ &= 0,08388 - 1,7660588 \times [1 - 0,96131] = 0,01554\end{aligned}$$

Pada Iterasi ke-5

- a. Substitusi θ_{04} , π_{x04} , A_{04} , S_{04} dan $\Psi(k_{04})$ kemudian hitung Q_{04} pada Persamaan (3.31).

$$\begin{aligned}&= \sqrt{\frac{2 \times 15.622 \left\{ 13.151,31 + \frac{75.146,60}{1} + 0 + 260.000 + \left[\frac{46.954,50^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 46.954,50 \times 0,25 \right] 35,66 \times \sqrt{\frac{29}{7}} \times 0,01554 \right\}}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 0,000018113 + 57.201 + 31.542 \left[1 \left(1 - \frac{15.622}{30.270} \right) - 1 + \frac{2 \times 15.622}{30.270} \right]}} \\ &= 927,80 \text{ unit}\end{aligned}$$

- c. Hitung beban muatan aktual $W_y = 927,80 \times 0,5 = 463,90$ dengan kapasitas truk, $W_y < W_x$ yaitu $463,90 < 8.000$ sehingga tidak perlu melakukan revisi lot pemesanan.
- d. Gunakan Q_{05} yang diperoleh sebelumnya, hitung $\Phi(k_{05})$ pada Persamaan (3.33), θ_{05} pada Persamaan (3.39), π_{x05} pada Persamaan (3.41), S_{05} pada Persamaan (3.43), dan A_{05} pada Persamaan (3.45).

$$\pi_{x05}^* = \frac{90.511}{2} + \frac{57.201 \times 927,80}{2 \times 15.622} = 46.954,10$$

$$\begin{aligned}\Phi(k^*) &= 1 - \frac{927,80 \times 57.201}{15.622 \left[\frac{46.954,10^2 \times 0,25}{90.511} + 90.511 - 46.954,10 \times 0,25 \right] + 927,80 \times 57.201 \left(1 - \frac{46.954,10 \times 0,25}{90.511} \right)} \\ &= 0,96132\end{aligned}$$

$$\theta_{05}^* = \frac{2 \times 0,115 \times 46.969.696,97}{41.141 \times 1 \times 15.622 \times 927,80} = 0,000018117$$

$$S_{05}^* = \frac{0,115 \times 11.000.000,00 \times 1 \times 927,80}{15.622} = 75.129,04$$

$$A_{05}^* = \frac{927,80 \times 0,115 \times 1.925.096,25}{15.622} = 13.148,24$$

- e. Tentukan k_{05} , $\varphi(k_{05})$ dan $\Psi(k_{05})$ dengan menggunakan fungsi distribusi normal standar pada Ms. Excel.

$$k_{05} = \text{NORMSINV}[1 - \Phi(k_{05})] = 1,766163$$

$$\varphi(k_{05}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\left(\frac{-k_{05}^2}{2}\right)} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 3,14}} e^{\left(\frac{-1,766163^2}{2}\right)} = 0,08386$$

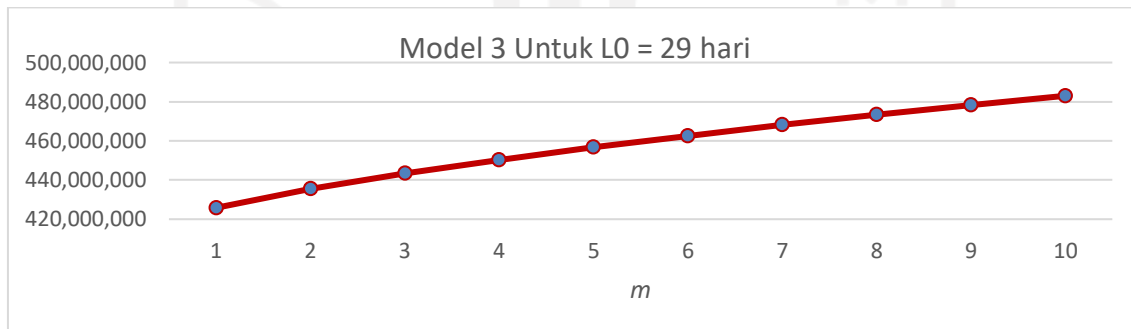
$$\Psi(k_{05}) = \varphi(k_{05}) - k_{05}[1 - \Phi(k_{05})] = 0,08386 - 1,766163 \times [1 - 0,96132] = 0,01554$$

Selanjutnya berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *lead time*, $L_0 = 29$ hari untuk model III adalah seperti Tabel 4.26 dan Gambar 4.24 sebagai berikut:

Tabel 4.26 Rangkuman Perhitungan Model III Untuk $L_0 = 29$ Hari

L	Q^*	W_y^*	Actual Satisfied	θ^*	πx^*	A^*	S^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_c(Q,m,\theta)$	JTEC
29	927,80	463,90	Satisfied	0,000018117	46.954,10	13.148,24	75.129,04	1,77	1	390.645.812,76	35.180.024,27	425.825.837,03 ^c
29	846,53	423,27	Satisfied	0,000009928	46.805,32	11.996,56	137.096,68	1,81	2	391.982.134,67	43.467.126,85	435.449.261,52
29	783,61	391,80	Satisfied	0,000007150	46.690,12	11.104,85	190.359,32	1,84	3	393.524.800,07	49.812.798,16	443.337.598,23
29	733,01	366,50	Satisfied	0,000005733	46.597,47	10.387,73	237.422,05	1,87	4	395.171.862,22	55.136.541,02	450.308.403,24
29	691,15	345,58	Satisfied	0,000004864	46.520,85	9.794,64	279.832,93	1,89	5	396.868.929,54	59.792.286,65	456.661.216,19
29	655,79	327,89	Satisfied	0,000004272	46.456,10	9.293,42	318.615,64	1,92	6	398.585.246,63	63.966.412,71	462.551.659,34
29	625,38	312,69	Satisfied	0,000003840	46.400,43	8.862,51	354.482,62	1,94	7	400.302.744,64	67.772.624,89	468.075.369,53
29	598,87	299,43	Satisfied	0,000003508	46.351,90	8.486,83	387.950,10	1,96	8	402.010.567,08	71.286.593,84	473.297.160,92
29	575,49	287,74	Satisfied	0,000003245	46.309,09	8.155,49	419.404,36	1,97	9	403.702.141,50	74.561.702,32	478.263.843,82
29	554,66	277,33	Satisfied	0,000003030	46.270,97	7.860,38	449.142,32	1,99	10	405.373.527,29	77.637.240,39	483.010.767,68

←JTEC minimum



Gambar 4.24 Proses Iterasi m Model III Untuk $L_0 = 29$ hari

Dari Tabel 4.26 dan Gambar 4.24 dapat dijelaskan bahwa pada *lead time* optimal pada $L_0 = 29$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* optimal sebesar 1 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 927,80 unit; *safety factor* 1,77 kali; probabilitas *out-of-control* optimal 0,000018117; biaya *backorder* optimal Rp 46.954,10/unit; biaya pesan optimal Rp13.148,24/pesan; biaya *setup* optimal Rp 75.129,04/setup. Sehingga total biaya sistem pada model III adalah **Rp 425.825.837,03**.

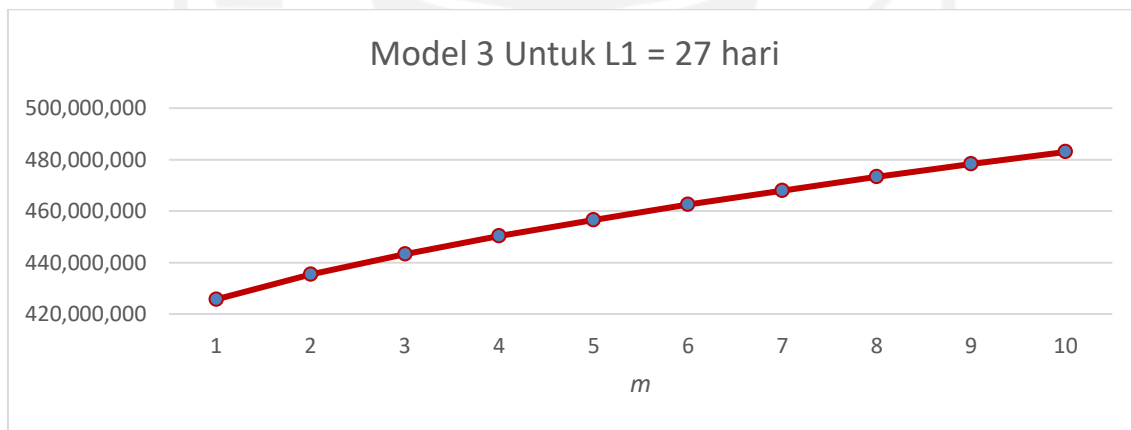
2. Perhitungan dengan crashing lead time ($L_1 = 27$ hari)

Berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *crashing lead time* $L_1 = 27$ hari pada model III pada Tabel 4.27 dan Gambar 4.25 sebagai berikut:

Tabel 4.27 Rangkuman Perhitungan Model III Untuk $L_1 = 27$ Hari

L	Q^*	W_y^*	Actual Satisfies	θ^*	πx^*	A^*	S^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m,\theta)$	JTEC
27	929,27	464,63	Satisfied	0,000018088	46.956,79	13.169,08	75.248,14	1,77	1	390.479.681,90	35.198.547,96	425.678.229,86 ^c
27	847,94	423,97	Satisfied	0,000009912	46.807,89	12.016,47	137.324,23	1,81	2	391.816.492,94	43.496.145,32	435.312.638,26
27	784,95	392,48	Satisfied	0,000007138	46.692,58	11.123,90	190.685,96	1,84	3	393.360.111,92	49.851.357,15	443.211.469,07
27	734,30	367,15	Satisfied	0,000005723	46.599,84	10.406,02	237.839,98	1,87	4	395.008.467,81	55.183.860,12	450.192.327,93
27	692,40	346,20	Satisfied	0,000004855	46.523,13	9.812,24	280.335,66	1,89	5	396.707.078,92	59.847.722,23	456.554.801,15
27	656,98	328,49	Satisfied	0,000004264	46.458,29	9.310,40	319.197,68	1,92	6	398.425.125,13	64.029.426,95	462.454.552,08
27	626,54	313,27	Satisfied	0,000003833	46.402,55	8.878,93	355.139,33	1,94	7	400.144.490,72	67.842.762,21	467.987.252,93
27	599,99	300,00	Satisfied	0,000003502	46.353,96	8.502,74	388.677,45	1,95	8	401.854.284,73	71.363.463,46	473.217.748,19
27	576,58	288,29	Satisfied	0,000003239	46.311,09	8.170,94	420.198,88	1,97	9	403.547.909,01	74.644.965,19	478.192.874,20
27	555,72	277,86	Satisfied	0,000003025	46.272,91	7.875,41	450.000,91	1,99	10	405.221.403,52	77.726.599,35	482.948.002,87

←JTEC minimum



Gambar 4.25 Proses Iterasi m Model III Untuk $L_1 = 27$ hari

Dari Tabel 4.27 dan Gambar 4.25 dapat dijelaskan bahwa pada lead time optimal pada $L_1 = 27$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* optimal sebesar 1 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 929,27 unit; *safety factor* 1,77 kali; probabilitas *out-of-control* optimal 0,000018088; biaya *backorder* optimal Rp 46.956,79/unit; biaya pesan optimal Rp 13.169,08/pesan; biaya *setup* optimal Rp 75.248,14/setup. Sehingga total biaya sistem pada model III adalah **Rp 425.678.229,86**.

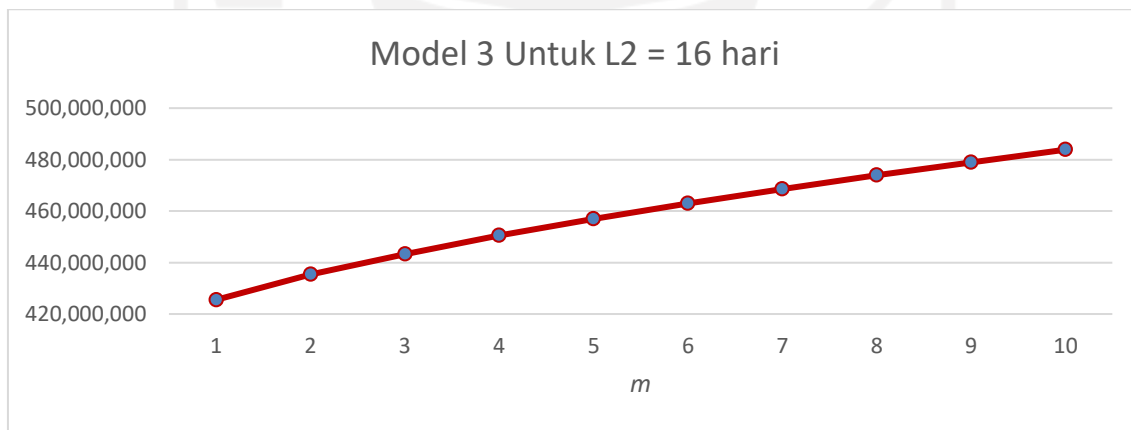
3. Perhitungan dengan crashing lead time ($L_2 = 16$ hari)

Berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *crashing lead time* $L_2 = 16$ hari pada model III pada Tabel 4.28 dan Gambar 4.26 sebagai berikut:

Tabel 4.28 Rangkuman Perhitungan Model III Untuk $L_2 = 16$ Hari

L	Q^*	W_y^*	Actual Satisfies	θ^*	πx^*	A^*	S^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m,\theta)$	JTEC
16	948,62	474,31	Satisfied	0,000017719	46.992,21	13.443,24	76.814,66	1,76	1	390.072.297,53	35.441.236,68	425.513.534,21 [*]
16	865,96	432,98	Satisfied	0,000009705	46.840,88	12.271,88	140.243,01	1,80	2	391.423.050,13	43.867.378,86	435.290.428,99
16	801,89	400,95	Satisfied	0,000006987	46.723,60	11.364,00	194.801,60	1,83	3	392.986.407,25	50.336.175,41	443.322.582,66
16	750,33	375,17	Satisfied	0,000005600	46.629,20	10.633,32	243.035,10	1,86	4	394.658.204,65	55.771.009,17	450.429.213,82
16	707,67	353,83	Satisfied	0,000004750	46.551,08	10.028,64	286.518,34	1,88	5	396.382.683,93	60.528.412,94	456.911.096,88
16	671,59	335,79	Satisfied	0,000004171	46.485,03	9.517,38	326.293,87	1,91	6	398.128.208,49	64.796.591,04	462.924.799,53
16	640,56	320,28	Satisfied	0,000003749	46.428,23	9.077,65	363.087,96	1,93	7	399.876.120,76	68.690.580,40	468.566.701,16
16	613,50	306,75	Satisfied	0,000003425	46.378,68	8.694,16	397.427,23	1,95	8	401.615.159,48	72.287.052,17	473.902.211,65
16	589,62	294,81	Satisfied	0,000003167	46.334,97	8.355,81	429.706,03	1,96	9	403.338.467,39	75.640.160,50	478.978.627,89
16	568,35	284,18	Satisfied	0,000002957	46.296,03	8.054,39	460.227,58	1,98	10	405.041.899,76	78.789.803,13	483.831.702,89

← JTEC minimum



Gambar 4.26 Proses Iterasi m Model III Untuk $L_2 = 16$ hari

Dari Tabel 4.28 dan Gambar 4.26 dapat dijelaskan bahwa pada lead time optimal pada $L_2 = 16$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* optimal sebesar 1 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 948,62 unit; *safety factor* 1,76 kali; probabilitas *out-of-control* optimal 0,000017719; biaya *backorder* optimal Rp 46.992,21/unit; biaya pesan optimal Rp 13.443,24/pesan; biaya *setup* optimal Rp 76.814,66/setup. Sehingga total biaya sistem pada model III adalah **Rp 425.513.534,21**.

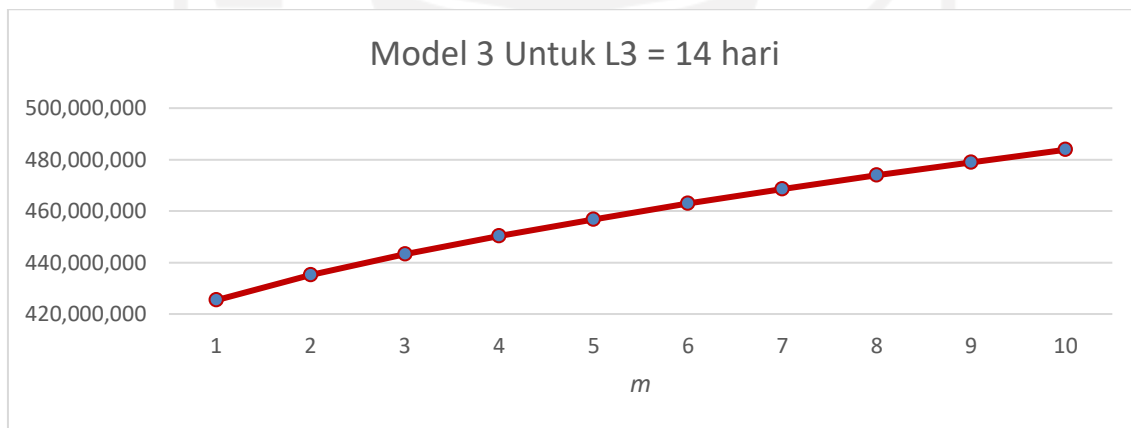
4. Perhitungan dengan *crashing lead time* ($L_3 = 14$ hari)

Berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap m dengan *crashing lead time* $L_3 = 14$ hari pada model III pada Tabel 4.29 dan Gambar 4.27 sebagai berikut:

Tabel 4.29 Rangkuman Perhitungan Model III Untuk $L_3 = 14$ Hari

L	Q^*	W_y^*	<i>Actual Satisfies</i>	θ^*	πx^*	A^*	S^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m,\theta)$	$JTEC$
14	951,05	475,52	Satisfied	0,000017674	46.996,66	13.477,71	77.011,63	1,76	1	389.875.106,38	35.471.628,89	425.346.735,26 ^c
14	868,26	434,13	Satisfied	0,000009680	46.845,10	12.304,52	140.616,06	1,80	2	391.227.007,56	43.914.695,67	435.141.703,23
14	804,09	402,04	Satisfied	0,000006968	46.727,61	11.395,05	195.333,89	1,83	3	392.792.261,66	50.398.741,86	443.191.003,52
14	752,43	376,21	Satisfied	0,000005585	46.633,03	10.662,98	243.713,12	1,86	4	394.466.481,36	55.847.496,92	450.313.978,28
14	709,67	354,84	Satisfied	0,000004737	46.554,76	10.057,09	287.331,08	1,88	5	396.193.756,67	60.617.747,22	456.811.503,89
14	673,52	336,76	Satisfied	0,000004159	46.488,57	9.544,75	327.232,20	1,91	6	397.942.346,34	64.897.885,24	462.840.231,58
14	642,42	321,21	Satisfied	0,000003738	46.431,64	9.104,06	364.144,20	1,93	7	399.693.519,06	68.803.090,52	468.496.609,57
14	615,30	307,65	Satisfied	0,000003415	46.381,98	8.719,70	398.594,82	1,94	8	401.435.960,54	72.410.144,44	473.846.104,97
14	591,37	295,69	Satisfied	0,000003158	46.338,17	8.380,57	430.979,29	1,96	9	403.162.774,67	75.773.288,07	478.936.062,74
14	570,05	285,03	Satisfied	0,000002949	46.299,14	8.078,43	461.601,55	1,98	10	404.869.787,82	78.932.488,84	483.802.276,67

← JTEC minimum



Gambar 4.27 Proses Iterasi m Model III Untuk $L_3 = 14$ hari

Dari Tabel 4.29 dan Gambar 4.27 dapat dijelaskan bahwa pada *lead time* optimal pada $L_3 = 14$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* optimal sebesar 1 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 951,05 unit; *safety factor* 1,76 kali; probabilitas *out-of-control* optimal 0,000017674; biaya *backorder* optimal Rp 46.996,66/unit; biaya pesan optimal Rp 13.477,71/pesan; biaya *setup* optimal Rp 77.011,63/setup. Sehingga total biaya sistem pada model III adalah **Rp 425.346.735,26**.

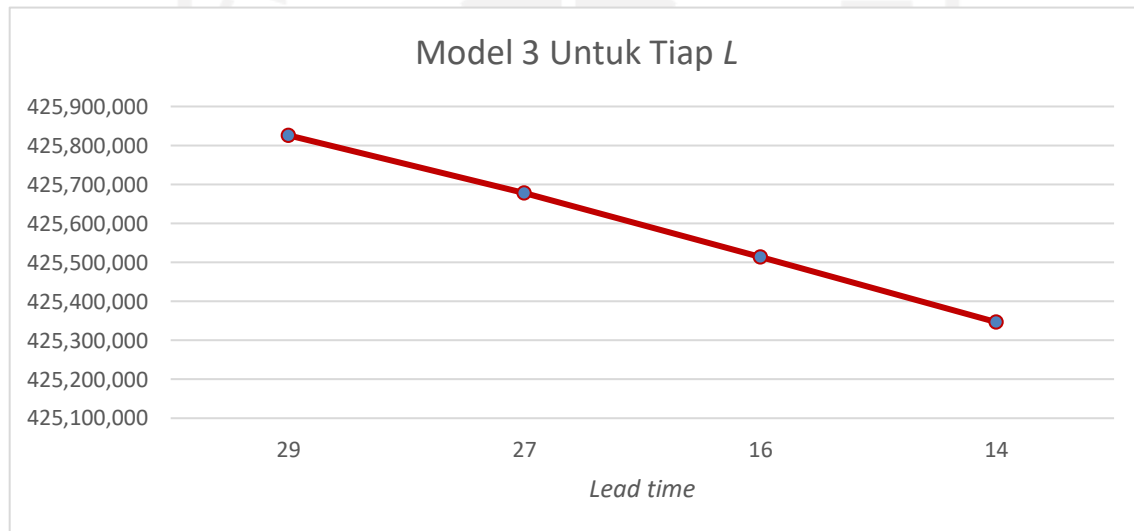
5. Rangkuman Perhitungan Untuk Tiap *Lead time* Pada Model III

Dari hasil perhitungan tiap *lead time*, berikut adalah rangkuman perhitungan untuk tiap *lead time* pada model III seperti pada Tabel 4.30 dan Gambar 4.28 sebagai berikut:

Tabel 4.30 Rangkuman Perhitungan Model III Untuk Tiap *Lead time*

L	Q^*	W_y^*	Actual Satisfied	θ^*	π_x^*	A^*	S^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m,\theta)$	JTEC
29	927,80	463,90	Satisfied	0,000018117	46.954,10	13.148,24	75.129,04	1,77	1	390.645.812,76	35.180.024,27	425.825.837,03
27	929,27	464,63	Satisfied	0,000018088	46.956,79	13.169,08	75.248,14	1,77	1	390.479.681,90	35.198.547,96	425.678.229,86
16	948,62	474,31	Satisfied	0,000017719	46.992,21	13.443,24	76.814,66	1,76	1	390.072.297,53	35.441.236,68	425.513.534,21
14	951,05	475,52	Satisfied	0,000017674	46.996,66	13.477,71	77.011,63	1,76	1	389.875.106,38	35.471.628,89	425.346.735,26 ^c

← JTEC minimum



Gambar 4.28 Rangkuman Tiap *Lead Time* Model III

Dari Tabel 4.30 dan Gambar 4.28 dapat dijelaskan bahwa pada *lead time* optimal pada $L_3 = 14$ hari, jumlah pengiriman atau *batch* optimal sebesar 1 kali dengan ukuran *lot* gabungan optimal yaitu 951,05 unit; *safety factor* 1,76 kali; probabilitas *out-of-control* optimal 0,000017674; biaya *backorder* optimal Rp 46.996,66/unit; biaya pesan optimal Rp 13.477,71/pesan; biaya *setup* optimal Rp 77.011,63/setup. Sehingga total biaya sistem pada model III adalah **Rp 425.346.735,26**. Untuk rekapitulasi hasil perhitungan model III dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Perhitungan Model III

Variabel	Model III
Ukuran lot pemesanan sarimbit batik (unit)	100,08
Ukuran lot pemesanan blues pria batik (unit)	428,28
Ukuran lot pemesanan blues wanita batik (unit)	422,68
Total ukuran <i>lot</i> pemesanan (unit)	951,05
Total berat aktual (kg)	475,52
<i>Lead time</i> (hari)	14
<i>Safety factor</i>	1,76
Jumlah pengiriman (kali)	1
Probabilitas <i>out-of-control</i>	0,000017674
Biaya <i>backorder</i> optimal (Rp/unit)	46.996,66
Biaya pesan optimal (Rp)	13.477,71
Biaya <i>setup</i> optimal (Rp)	77.011,63
Total biaya Titin Batik (Rp/tahun)	389.875.106,38
Total biaya El-Rahma (Rp/tahun)	35.471.628,89
Total biaya Sistem (Rp/tahun)	425.346.735,26

BAB V

PEMBAHASAN

Pada Bab ini membahas mengenai hasil-hasil penelitian dengan melakukan perbandingan hasil penelitian (*subbab* 5.1). Selain itu Bab ini juga membahas mengenai analisa perbandingan komponen total biaya pada tiap model (*subbab* 5.2) dan analisa sensitivitas pada tiap model (*subbab* 5.3).

5.1 Analisa Perbandingan Hasil Penelitian

Dari hasil perhitungan yang diperoleh pada bab sebelumnya, berikut adalah Analisa hasil untuk memperlihatkan perbedaan antara beberapa model yang dihasilkan seperti pada Tabel 5.1. Pada perhitungan riil merupakan perhitungan dengan kebijakan tanpa integrasi atau optimalisasi pada masing-masing pihak. Sedangkan pada model yang lainnya merupakan model dengan kebijakan integrasi antar pihak dalam sistem rantai pasok.

Tabel 5.1 Perbandingan Hasil Perhitungan Pada Tiap Model

Variabel	Perhitungan Riil	Model Modifikasi			
		Wangsa dan Wee (2017)	Model I	Model II	Model III
Ukuran lot sarimbit batik (unit)	137,00	70,42	115,49	115,57	100,08
Ukuran lot blues pria batik (unit)	586,25	301,34	494,22	494,54	428,28
Ukuran lot blues wanita batik (unit)	578,58	297,40	487,76	488,08	422,68
Total ukuran lot pemesanan (unit)	1.301,83	669,17	1.097,48	1.098,19	951,05
Total berat aktual (kg)	650,92	334,59	548,74	549,09	475,52
Jumlah pengiriman (kali)	1	1	2	2	1
Jumlah batch produksi (unit)	20,83	669,17	2.194,96	2.196,38	951,05
Lead time (hari)	29	27	14	14	14
Safety factor	0,25	2,14	1,94	1,69	1,76
Probabilitas out-of-control	0,0004000	0,0004000	0,000007658	0,000007653	0,000017674
Biaya backorder optimal (Rp/unit)	330.000	330.000	330.000	47.266	46.997
Biaya pesan optimal (Rp)	350.000	350.000	350.000	350.000	13.478
Biaya setup optimal (Rp)	2.155.833	2.155.833	2.155.833	2.155.833	77.012
Total biaya Titin Batik (Rp/tahun)	420.564.288,79	405.782.463,37	393.535.195,32	392.901.353,22	389.875.106,38
Total biaya El-Rahma (Rp/tahun)	1.619.711.386,73	141.790.931,39	59.420.341,08	59.425.111,71	35.471.628,89
Total biaya Sistem (Rp/tahun)	2.040.275.675,52	547.573.394,76	452.955.536,40	452.326.464,92	425.346.735,26

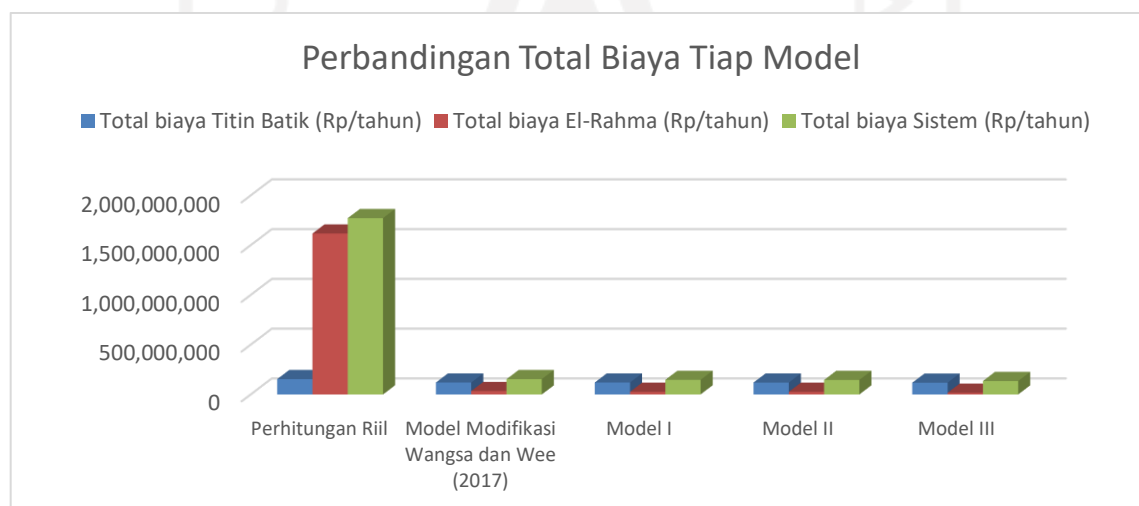
Dari hasil perbandingan yang dihasilkan tiap model yang ditunjukkan pada Tabel 5.1, berikut adalah analisa hasil penghematan total biaya yang dapat diperoleh dari hasil perbandingan tiap model. Untuk menghitung penghematan total biaya menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$\text{Penghematan total biaya (\%)} = \frac{(\text{model sebelumnya} - \text{model sesudahnya})}{\text{model sebelumnya}} \times 100\%$$

Dari perbandingan hasil perhitungan pada setiap model, selanjutnya dilakukan analisa penghematan total biaya dengan menggunakan formulasi diatas, yang ditunjukkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Penghematan Total Biaya

Total Biaya	Perhitungan Riil	Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)	Model I	Model II	Model III
Total biaya Titin Batik (Rp/tahun)	420.564.288,79	405.782.463,37	393.535.195,32	392.901.353,22	389.875.106,38
Total biaya El-Rahma (Rp/tahun)	1.619.711.386,73	141.790.931,39	59.420.341,08	59.425.111,71	35.471.628,89
Total biaya Sistem (Rp/tahun)	2.040.275.675,52	547.573.394,76	452.955.536,40	452.326.464,92	425.346.735,26
Penghematan total biaya Titin Batik (Rp/tahun)		14.781.825,42	12.247.268,05	633.842,11	3.026.246,84
Penghematan total biaya El-Rahma (Rp/tahun)		1.477.920.455,34	82.370.590,31	-4.770,63	23.953.482,82
Penghematan total biaya Sistem (Rp/tahun)		1.492.702.280,76	94.617.858,36	629.071,48	26.979.729,66
Penghematan total biaya Titin Batik (%)		3,51%	3,02%	0,16%	0,77%
Penghematan total biaya El-Rahma (%)		91,25%	58,09%	-0,01%	40,31%
Penghematan total biaya Sistem (%)		73,16%	17,28%	0,14%	5,96%



Gambar 5.1 Perbandingan Total Biaya Pada Tiap Model

Pada Tabel 5.1, Tabel 5.2 dan Gambar 5.1 dapat dijelaskan bahwa total biaya sistem pada perhitungan kondisi *rill* perusahaan adalah sebesar Rp.2.040.275.675,52/tahun. Dengan rincian total biaya Titin Batik adalah Rp 420.564.288,79/tahun dan total biaya El-Rahma Batik adalah Rp 1.619.711.386,73/tahun. Selanjutnya total biaya sistem pada model modifikasi Wangsa dan Wee (2017) adalah Rp 547.573.394,76/tahun. Adapun rinciannya total biaya Titin Batik sebesar Rp 405.782.463,37 dan total biaya El-Rahma Batik sebesar Rp 141.790.931,39. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa perhitungan menggunakan model modifikasi Wangsa dan Wee (2017) dapat menghemat total biaya sistem sebesar Rp 1.492.702.280,76/tahun atau 73,17% dari perhitungan *rill*. Hal ini dikarenakan adanya penghematan yang signifikan pada total biaya El-Rahma Batik yaitu sebesar Rp 1.477.920.455,34/tahun (91,25%) dan penghematan pada total biaya Titin Batik sebesar Rp 14.781.825,42/tahun (3,51%).

Kemudian pada perhitungan model I menghasilkan total biaya sistem Rp 452.955.536,40/tahun yang terdiri dari total biaya Titin Batik sebesar Rp 393.535.195,32/tahun dan total biaya El-Rahma Batik adalah sebesar Rp 59.420.341,08/tahun. Pada hasil perhitungan model I dapat dilihat penghematan pada total biaya sistem sebesar Rp 94.617.858,36/tahun atau 17,28% dibandingkan dari hasil perhitungan model modifikasi Wangsa dan Wee (2017). Hal ini dikarenakan adanya perbaikan berkelanjutan dengan mengoptimalkan probabilitas *out-of-control* dengan melakukan investasi. Probabilitas *out-of-control* pada model I diperoleh 0,000007658 dibandingkan dengan model modifikasi Wangsa dan Wee (2017) dengan probabilitas *out-of-control* awal yaitu 0,0004. Sehingga dari hasil perbandingan terjadi penurunan pada total biaya El-Rahma Batik sebesar Rp 82.370.590,31/tahun atau 58,09% dan penghematan total biaya Titin Batik sebesar Rp 12.247.268,05/tahun atau 3,02%.

Selanjutnya pada model II dilakukan perbaikan berkelanjutan dengan mempertimbangkan adanya kondisi *shortage* sehingga untuk menjaga *service level* kepada pelanggan akhir dengan mengoptimalkan biaya *backorder* atau *backorder price discount*. Pada model II ini mengoptimalkan biaya *backorder* dari kondisi awal yaitu Rp 330.000/unit menjadi biaya *backorder* optimal yaitu Rp 47.266/unit. Pada model II

menunjukkan hasil total biaya sistem sebesar Rp 452.326.464,92/tahun dengan total biaya Titin Batik Rp 392.901.353,22/tahun dan total biaya El-Rahma Batik Rp 59.425.111,71/tahun. Pada model II ini memberikan penghematan total biaya sistem sebesar Rp 629.071,48/tahun atau 0,14% dibandingkan dari model I.

Selanjutnya pada model III yaitu model terakhir dilakukan perbaikan berkelanjutan dari model sebelumnya dengan mempertimbangkan optimalisasi biaya pesan dan biaya *setup* dengan melakukan investasi penurunan kedua biaya tersebut. Hal ini dilakukan karena adanya peningkatan frekuensi pemesanan pada Titin Batik dan frekuensi *setup* pada El-Rahma Batik pada kondisi *shortage* yang memerlukan pemesanan darurat (*backorder*) dan adanya produk *reject* karena proses produksi yang mengalami penurunan kualitas. Pada model III ini mengoptimalkan biaya per sekali pemesanan dari Rp 350.000/pesan menjadi Rp 13.478/pesan sedangkan biaya per sekali *setup* dari Rp 2.155.833/*setup* menjadi Rp 77.012/*setup*. Secara perhitungan model III ini memberikan hasil total biaya sistem paling minimum dibandingkan dari model-model sebelumnya dengan total biaya sistem sebesar Rp 425.346.735,26/tahun dengan rincian total biaya Titin Batik sebesar Rp 389.875.106,38/tahun dan total biaya pada El-Rahma Batik adalah Rp 35.471.628,89/tahun. Pada model III dapat dilihat penghematan total biaya sistem yang cukup signifikan dari model II yaitu sebesar Rp 26.979.729,66/tahun (5,96%) dimana dipengaruhi dari penurunan total biaya pada El-Rahma Batik yang telah mengoptimalkan biaya *setup* yaitu sebesar Rp 23.953.482,82/tahun (40,31%) dan penurunan total biaya pada Titin batik sebesar Rp 3.026.246,84/tahun (0,77%) dengan mengoptimalkan biaya pesan dari model sebelumnya.

Dari perbandingan hasil perhitungan dapat disimpulkan sementara bahwa model III ini merupakan model terbaik dengan memberikan total biaya sistem yang paling minimum dibandingkan dari model-model sebelumnya. Selain itu dari beberapa alternatif solusi model dapat memberikan alternatif keputusan pada pengambil keputusan untuk dapat melakukan perbaikan berkelanjutan pada sistem rantai pasok produk pakaian batik dengan mempertimbangkan adanya keterbatasan sumber daya yang dimiliki oleh perusahaan.

5.2 Analisa Perbandingan Komponen Total Biaya

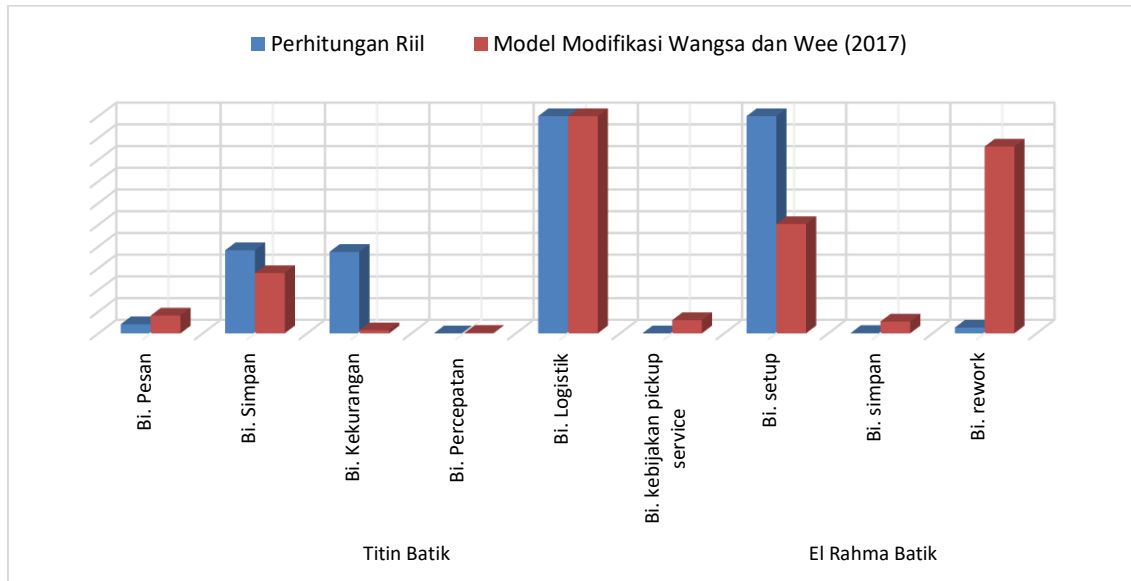
Dari hasil perhitungan akan dilakukan analisis perbandingan komponen total biaya untuk setiap model. Adapun komponen-komponen biaya pada pembeli yaitu Titin Batik meliputi biaya pesan, biaya simpan, biaya kekurangan, biaya percepatan *leadtime*, dan biaya logistik, dan lain-lain. Sedangkan komponen-komponen biaya pada pemasok yaitu El-Rahma Batik terdiri dari biaya *setup*, biaya simpan, biaya *rework*, dan lain-lain. Berikut adalah analisa komponen total biaya pada setiap model.

5.2.1 Perbandingan Komponen Total Biaya Kondisi Riil dengan Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)

Pada analisa pertama dilakukan analisis komponen total biaya pada perhitungan kondisi riil dengan membandingkan dengan model modifikasi Wangsa dan Wee (2017) yang ditunjukkan pada Tabel 5.3 dan Gambar 5.2 berikut ini.

Tabel 5.3 Perbandingan Komponen Total Biaya Kondisi Riil Dengan Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)

Perusahaan	Komponen biaya	Perhitungan Riil	Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)	Penghematan biaya	
				Rp/tahun	%
Titin Batik	Biaya Pesan	4.200.000,00	8.170.868,03	-3.970.868,03	-94,54%
	Biaya Simpan	38.271.127,98	27.736.910,60	10.534.217,39	27,53%
	Biaya Kekurangan	37.506.036,90	1.415.143,81	36.090.893,09	96,23%
	Biaya Percepatan <i>leadtime</i>	0	233.453,37	-233.453,37	-
	Biaya Logistik	340.587.123,91	362.156.299,89	-21.569.175,98	-6,33%
	Biaya kebijakan <i>pickup service</i>	0	6.069.787,68	-6.069.787,68	-
	Total Biaya Titin Batik	420.564.288,79	405.782.463,37	14.781.825,42	3,51%
El Rahma Batik	Biaya <i>setup</i>	1.616.875.000,00	50.328.656,15	1.566.546.343,85	96,89%
	Biaya simpan	158.964,63	5.446.530,33	-5.287.565,69	-3326,25%
	Biaya <i>rework</i>	2.677.422,09	86.015.744,91	-83.338.322,81	-3112,63%
	Total Biaya El Rahma Batik	1.619.711.386,73	141.790.931,39	1.477.920.455,34	91,25%
Sistem	Total Biaya Sistem	2.040.275.675,52	547.573.394,76	1.492.702.280,76	73,16%



Gambar 5.2 Perbandingan Komponen Total Biaya Kondisi Riil Dengan Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)

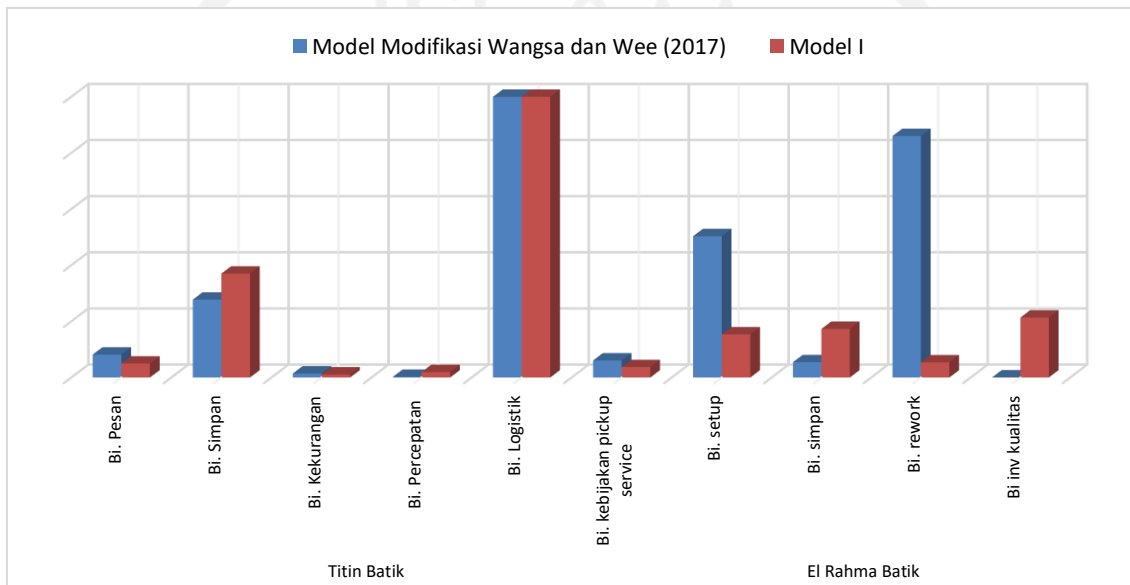
Pada Tabel 5.3 dan Gambar 5.2 menunjukkan bahwa pada komponen biaya Titin Batik, meliputi biaya pesan, biaya simpan, biaya kekurangan, biaya percepatan *leadtime*, biaya logistik, dan biaya *pickup service*. Pada model modifikasi menunjukkan komponen biaya pesan tidak memberikan penghematan bila dibandingkan dengan perhitungan kondisi riilnya. Hal ini dikarenakan pada model modifikasi menghasilkan ukuran *lot* yang lebih kecil sehingga membuat frekuensi pemesanannya menjadi lebih banyak dibanding kondisi riil. Sedangkan pada komponen biaya simpan terjadi penghematan sebesar 27,53% karena pada model modifikasi menghasilkan ukuran *lot* yang lebih kecil dibandingkan kondisi riil sehingga biaya simpannya menjadi kecil. Pada komponen biaya kekurangan dalam model modifikasi mengalami penghematan yang sangat signifikan dari kondisi riilnya yaitu Rp. 37.506.036,90/tahun menjadi Rp. 1.415.143,81/tahun atau menghemat Rp. 36.090.893,09/tahun (96,23%). Hal ini dikarenakan pada model modifikasi telah mengoptimalkan ukuran *lot* sebesar 669,17 unit dari ukuran *lot* sebelumnya pada kondisi riil yaitu 1.301,83 unit serta mengoptimalkan *safety factor* yaitu 2,14 kali dari sebelumnya yaitu 0,25 kali sehingga dapat meminimasi biaya *shortage*. Pada model modifikasi mempertimbangkan komponen biaya *crashing leadtime* untuk menjaga *service level*

kepada pelanggan akhir sedangkan pada kondisi riil belum mempertimbangkan hal tersebut. Selanjutnya pada komponen biaya logistik pada model modifikasi tidak memberikan penghematan dari kondisi riil karena pada model modifikasi menghasilkan ukuran *lot* yang lebih kecil sehingga mengakibatkan frekuensi pengirimannya menjadi lebih banyak. Akan tetapi pada model modifikasi mempertimbangkan adanya komponen biaya *pickup service* sedangkan pada kondisi riil belum mempertimbangkan hal tersebut.

Pada komponen biaya El-Rahma Batik, meliputi biaya *setup*, biaya simpan, dan biaya *rework*. Pada komponen biaya setup untuk model modifikasi memberikan penghematan yang signifikan dari Rp. 1.616.875.000,00/tahun menjadi Rp. 50.328.656,15/tahun atau Rp. 1.566.546.343,85/tahun (96,89%). Hal ini disebabkan jumlah setup dalam satu tahun pada kondisi riil berdasarkan data perusahaan adalah 750 kali sedangkan pada model modifikasi jumlah setup yang optimal dalam setahun = $D/(m^*Q^*) = 15.622/(1 \times 669,17) = 23$ kali. Model modifikasi menghasilkan ukuran *lot* produksinya lebih besar sehingga mengakibatkan frekuensi setupnya menjadi lebih sedikit dibanding kondisi riil. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh hubungan tanpa integrasi pada kondisi riil dan hubungan dengan integrasi pada model modifikasi. Pada biaya simpan El-Rahma Batik dalam model modifikasi tidak memberikan penghematan (-3.326,25%) karena ukuran *lot* yang dihasilkan lebih besar dibandingkan kondisi riil, dimana ukuran *lot* produksi pada model modifikasi yaitu 669,17 unit dan ukuran *lot* produksi pada kondisi riil adalah 20,83 unit. Selanjutnya biaya *rework* pada El Rahma Batik dalam model modifikasi tidak memberikan penghematan dibandingkan kondisi riil sejumlah -Rp.83.338.322,81/tahun (-3.112,63%). Hal ini dikarenakan pada model modifikasi menghasilkan ukuran *lot* lebih besar yaitu 669,17 unit dengan probabilitas *out-of-control* awal yaitu 0,0004 maka estimasi jumlah *rework* pada model modifikasi sebesar 2.090,75 unit/tahun sehingga menghasilkan biaya *rework* tahunan yaitu Rp. 86.015.744,91/tahun. Biaya ini lebih tinggi dibandingkan pada kondisi riil sebesar Rp.2.677.422,09/tahun dikarenakan ukuran *lot* produksi kondisi *riil* lebih kecil yaitu 20,83 unit dengan probabilitas *out-of-control* yang sama.

5.2.2 Perbandingan Komponen Total Biaya Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) dengan Model I

Selanjutnya pada analisa kedua dilakukan analisis komponen total biaya pada model modifikasi Wangsa dan Wee (2017) dengan hasil dari pengembangan model I yang ditunjukkan pada Gambar 5.3 dan Tabel 5.4 berikut ini.



Gambar 5.3 Perbandingan Komponen Total Biaya Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Dengan Model I

Tabel 5.4 Perbandingan Komponen Total Biaya Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017) Dengan Model I

Perusahaan	Komponen biaya	Model Modifikasi Wangsa dan Wee (2017)	Model I	Penghematan biaya	
				Rp/tahun	%
Titin Batik	Biaya Pesan	8.170.868,03	4.982.052,12	3.188.815,91	39,03%
	Biaya Simpan	27.736.910,60	37.005.995,10	-9.269.084,50	-33,42%
	Biaya Kekurangan	1.415.143,81	1.075.195,05	339.948,76	24,02%
	Biaya Percepatan leadtime	233.453,37	1.935.883,11	-1.702.429,74	-729,24%
	Biaya Logistik	362.156.299,89	344.835.116,95	17.321.182,94	4,78%
	Biaya kebijakan <i>pickup service</i>	6.069.787,68	3.700.953,00	2.368.834,68	39,03%
	Total Biaya Titin Batik	405.782.463,37	393.535.195,32	12.247.268,05	3,02%

Perusahaan	Komponen biaya	Model Modifikasi		Penghematan biaya	
		Wangsa dan Wee (2017)	Model I	Rp/tahun	%
El Rahma Batik	Biaya setup	50.328.656,15	15.343.534,32	34.985.121,84	69,51%
	Biaya simpan	5.446.530,33	17.308.348,99	-11.861.818,66	-217,79%
	Biaya <i>rework</i>	86.015.744,91	5.401.515,15	80.614.229,75	93,72%
	Biaya investasi perbaikan kualitas	0,00	21.366.942,63	-21.366.942,63	-
	Total Biaya El Rahma Batik	141.790.931,39	59.420.341,08	82.370.590,31	58,09%
Sistem	Total Biaya Sistem	547.573.394,76	452.955.536,40	94.617.858,36	17,28%

Pada Tabel 5.4 dan Gambar 5.3 menunjukkan komponen biaya Titin Batik terdiri dari biaya pesan, biaya simpan, biaya kekurangan, biaya percepatan *leadtime*, biaya logistik, dan biaya *pickup service*. Dalam model I memberikan penghematan pada komponen biaya pesan sebesar 39,03%. Hal ini dikarenakan pada model I menghasilkan ukuran *lot*-nya lebih besar (1.097,48 unit) sehingga mengakibatkan frekuensi pemesanan menjadi lebih sedikit dibandingkan model modifikasi (669,17 unit). Sedangkan pada komponen biaya simpan tidak memberikan penghematan biaya (-33,42%) hal ini dikarenakan pada model I menghasilkan ukuran *lot* yang lebih besar dibandingkan model modifikasi sehingga biaya simpannya menjadi meningkat. Kemudian pada biaya kekurangan model I mengalami penghematan yang cukup signifikan dari model modifikasi yaitu sebesar 24,02%. Hal ini disebabkan pada model I telah mengoptimalkan ukuran *lot*, *safety factor*, dan probabilitas *out-of-control* sehingga meminimasi adanya keadaan *shortage*. Pada model I menghasilkan *leadtime* yang lebih cepat (14 hari) dengan mempercepat di 2 komponen *leadtime* yaitu waktu setup (2 hari x Rp. 5.000/hari = Rp 10.000) dan waktu proses (13 hari x Rp 10.000/hari = Rp 130.000 sehingga total biaya percepatan pada model I sebesar Rp 140.000 sedangkan pada model modifikasi *leadtime*-nya adalah 27 hari dengan mempercepat komponen pertama *leadtime* pada waktu proses 2 hari x Rp. 5.000/hari = Rp 10.000. Hal tersebut mengakibatkan peningkatan pada biaya *crashing leadtime* pada model I dan tidak memberikan penghematan biaya dari aspek komponen biaya percepatan *leadtime* namun *leadtime* yang didapatkan lebih cepat. Oleh karena itu biaya percepatan *leadtime* tahunan pada model I lebih besar yaitu Rp. 1.935.883,11/tahun dari model modifikasi yaitu Rp. 233.453,37/tahun atau meningkat -729,24%. Pada

komponen biaya logistik dalam model I menghasilkan penghematan sebesar 4,78%. Hal ini dikarenakan pada model I menghasilkan ukuran *lot* yang lebih besar sehingga frekuensi pengirimannya menjadi lebih sedikit dibanding model modifikasi. Selanjutnya biaya *pickup service* pada model I menghasilkan penghematan sebesar 39,03%. Hal ini sama dengan biaya logistik dimana pada model I menghasilkan ukuran *lot* yang lebih besar sehingga mengakibatkan frekuensi pengiriman menjadi lebih sedikit dibanding model modifikasi.

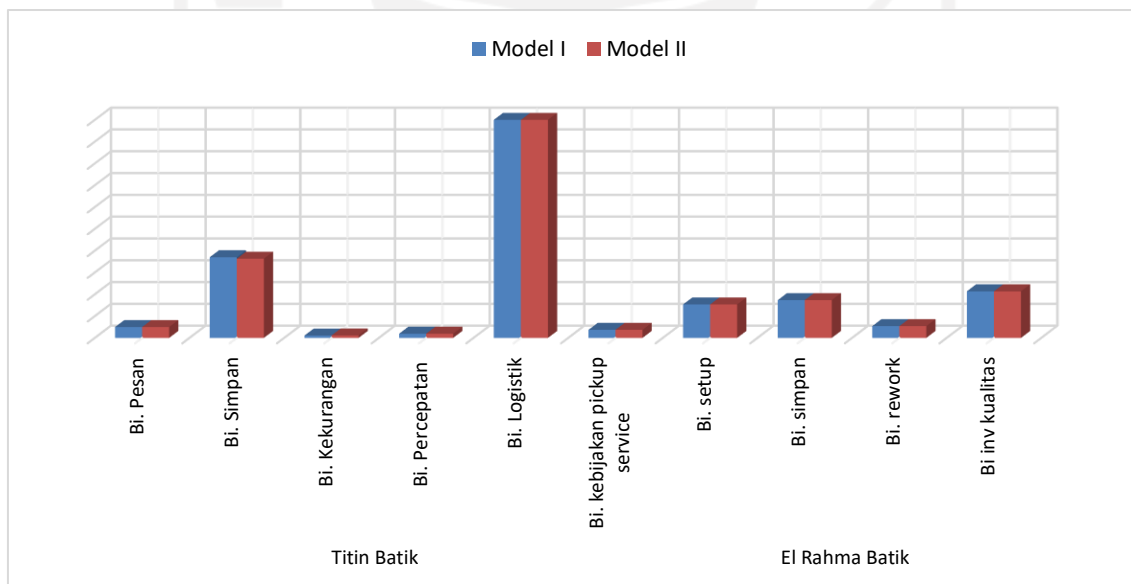
Pada komponen biaya El-Rahma Batik, meliputi biaya *setup*, biaya simpan, biaya *rework* dan biaya investasi perbaikan kualitas. Pada komponen biaya *setup* untuk model I memberikan penghematan yang signifikan yaitu sebesar 69,51% karena pada model I frekuensi *setup*-nya lebih sedikit dibanding model modifikasi karena ukuran *batch* produksi lebih banyak (2.194,95 unit vs 669,17 unit). Pada model I tidak memberikan penghematan komponen biaya simpan dibandingkan model modifikasi karena model I menghasilkan ukuran *batch* produksinya lebih besar yang mengakibatkan meningkatkan biaya simpan. Selanjutnya biaya *rework* pada El Rahma Batik dalam model I memberikan penghematan yang signifikan dibandingkan model modifikasi yaitu sebesar Rp 80.614.229,75/tahun (93,72%). Hal ini dikarenakan pada model I dilakukan optimalisasi probabilitas *out-of-control* El-Rahma Batik dari 0,00040 menjadi 0,000007658 dengan biaya investasi perbaikan kualitas seperti menambah pekerja, melakukan pelatihan pekerja dalam membatik dan menambah peralatan dan mesin baru dalam membatik yaitu sebesar Rp. 21.366.942,63. Sehingga pada model I dapat menekan biaya *rework* dari model sebelumnya.

5.2.3 Perbandingan Komponen Total Biaya Model I dengan Model II

Selanjutnya pada analisa ketiga dilakukan analisis dari hasil komponen total biaya pada pengembangan model I dengan hasil dari pengembangan model II yang ditunjukkan pada Tabel 5.5 dan Gambar 5.4 berikut ini.

Tabel 5.5 Perbandingan Komponen Total Biaya Model I Dengan Model II

Perusahaan	Komponen biaya	Model I	Model II	Penghematan biaya	
				Rp/tahun	%
Titin Batik	Biaya Pesan	4.982,052,12	4.978.831,27	3.220,85	0,06%
	Biaya Simpan	37.005,995,10	36.331.090,62	674.904,48	1,82%
	Biaya Kekurangan	1.075,195,05	1.140.617,60	-65.422,55	-6,08%
	Biaya Percepatan <i>leadtime</i>	1.935.883,11	1.934.631,58	1.251,53	0,06%
	Biaya Logistik	344.835,116,95	344.817.621,77	17.495,18	0,01%
	Biaya kebijakan <i>pickup service</i>	3.700.953,00	3.698.560,37	2.392,63	0,06%
	Total Biaya Titin Batik	393.535.195,32	392.901.353,22	633.842,11	0,16%
El Rahma Batik	Biaya setup	15.343.534,32	15.333.614,87	9.919,44	0,06%
	Biaya simpan	17.308.348,99	17.319.545,90	-11.196,92	-0,06%
	Biaya <i>rework</i>	5.401.515,15	5.401.515,15	0,00	0,00%
	Biaya investasi perbaikan kualitas	21.366.942,63	21.370.435,78	-3.493,16	-0,02%
	Total Biaya El Rahma Batik	59.420.341,08	59.425.111,71	-4.770,63	-0,01%
Sistem	Total Biaya Sistem	452.955.536,40	452.326.464,92	629.071,48	0,14%

**Gambar 5.4** Perbandingan Komponen Total Biaya Model I Dengan Model II

Pada Tabel 5.5 dan Gambar 5.4 menunjukkan komponen biaya pada Titin Batik terdiri dari biaya pesan, biaya simpan, biaya kekurangan, biaya percepatan *leadtime*, biaya logistik, dan biaya *pickup service*. Pada model II merupakan model dengan

mengoptimalkan biaya *backorder*, yaitu Rp 47.266/unit. Dari hasil perhitungan, pada model II memberikan penghematan pada komponen biaya pesan yang tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 0,06% karena pada model II menghasilkan ukuran *lot* yang dihasilkannya lebih banyak sedikit dibandingkan pada model I (1.098,19 unit pada model II dan 1.097,48 unit pada model I) sehingga mengakibatkan frekuensi pemesanan menjadi lebih kecil sedikit dan biaya pesan ikut menjadi lebih kecil dari model I. Selanjutnya pada komponen biaya simpan untuk model II menghemat sebesar 1,82% karena telah mengoptimalkan ukuran *lot*, *safety factor*, dan biaya *backorder* sehingga biaya simpannya menjadi lebih kecil dari model I. Lebih lanjut pada model II menghasilkan ukuran *lot* yang lebih besar dari model I sehingga mengakibatkan jumlah terjadi *shortage* menjadi lebih besar dibandingkan model I akan tetapi pada model II ada tambahan optimalisasi variabel biaya *backorder*, dari Rp 330.000/unit menjadi Rp 47.266/unit. Pada model II dan model I mempunyai *leadtime* optimal yang sama yaitu 14 hari akan tetapi ukuran *lot* yang dihasilkan pada model II sedikit lebih besar dibandingkan dengan model I sehingga pada komponen biaya *crashing leadtime* memberikan penghematan biaya yang tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 0,06%, hal ini dikarenakan frekuensi tahunan yaitu D/Q lebih kecil. Dalam komponen biaya logistik dan komponen biaya *pickup service* pada model II menghasilkan frekuensi pengiriman yang lebih sedikit dari pada model I sehingga tidak mempengaruhi secara signifikan dalam penghematan biaya logistik (0,01%) dan penghematan biaya *pickup service* (0,06%).

Selanjutnya pada komponen biaya El-Rahma Batik terdiri dari biaya *setup*, biaya simpan, biaya *rework* dan biaya investasi perbaikan kualitas. Pada komponen biaya *setup* model II memberikan penghematan yang tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 0,06% karena pada model II menghasilkan jumlah ukuran *batch* produksinya (2.196,38 unit) lebih banyak sedikit dibandingkan dengan dari model I (2.194,96 unit). Oleh karena itu mengakibatkan frekuensi *setup*-nya lebih sedikit dan total biaya *setup* menjadi lebih kecil juga dibandingkan pada model I. Pengaruh ukuran *batch* yang lebih besar pada model II juga mempengaruhi komponen biaya simpan yang membuat biaya menjadi lebih tinggi sedikit dari model I sehingga tidak memberikan penghematan pada komponen biaya

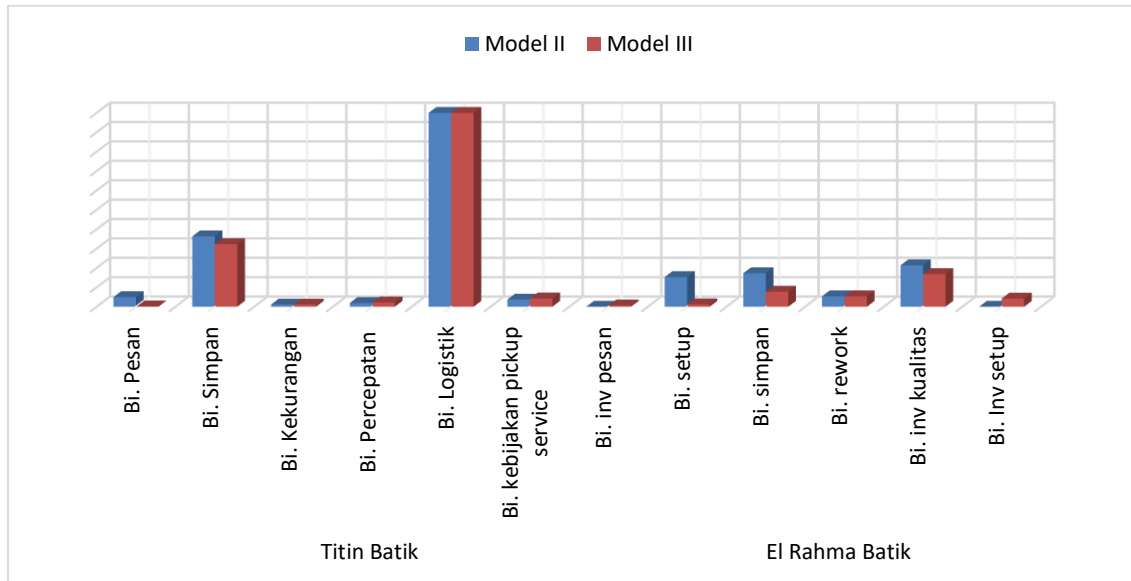
tersebut (penghematan -0,06%). Pada biaya *rework* El-Rahma Batik untuk model I dan model II telah mengoptimalkan probabilitas *out-of-control* dengan nilai yang sama sehingga pada model II tidak ada penghematan atau 0%. Dalam model II ada penambahan variabel yang dioptimalkan dari model I yaitu pada biaya *backorder*. Sehingga pada model II menghasilkan ukuran *batch* yang lebih besar dengan mengoptimalkan probabilitas *out-of-control* dan mengoptimalkan biaya *rework* dengan adanya penambahan investasi perbaikan kualitas pada kedua model, dan mengoptimalkan biaya *backorder* sehingga tidak mempengaruhi penghematan secara signifikan.

5.2.4 Perbandingan Komponen Total Biaya Model II dengan Model III

Selanjutnya pada analisa terakhir dilakukan analisis komponen total biaya pada pengembangan model II dengan hasil dari pengembangan model III yang ditunjukkan pada Tabel 5.6 dan Gambar 5.5 berikut ini.

Tabel 5.6 Perbandingan Komponen Total Biaya Model II Dengan Model III

Perusahaan	Komponen biaya	Model II	Model III	Penghematan biaya	
				Rp/tahun	%
Titin Batik	Biaya Pesan	4.978.831,27	221.386,07	4.757.445,20	95,55%
	Biaya Simpan	36.331.090,62	32.303.497,08	4.027.593,55	11,09%
	Biaya Kekurangan	1.140.617,60	1.122.680,07	17.937,53	1,57%
	Biaya Percepatan leadtime	1.934.631,58	2.233.948,23	-299.316,65	-15,47%
	Biaya Logistik	344.817.621,77	349.001.780,15	-4.184.158,38	-1,21%
	Biaya kebijakan <i>pickup service</i>	3.698.560,37	4.270.783,38	-572.223,01	-15,47%
	Biaya investasi penurunan biaya pesan	0,00	721.031,40	-721.031,40	-
	Total Biaya Titin Batik	392.901.353,22	389.875.106,38	3.026.246,84	0,77%
El Rahma Batik	Biaya setup	15.333.614,87	1,265,000,00	14.068.614,87	91,75%
	Biaya simpan	17.319.545,90	7,740,800,62	9.578.745,28	55,31%
	Biaya <i>rework</i>	5.401.515,15	5,401,515,15	0,00	0,00%
	Biaya investasi perbaikan kualitas	21.370.435,78	16.849.363,29	4.521.072,49	21,16%
	Biaya investasi penurunan biaya setup	0,00	4.214.949,82	-4.214.949,82	-
	Total Biaya El Rahma Batik	59.425.111,71	35.471.628,89	23.953.482,82	40,31%
Sistem	Total Biaya Sistem	452.326.464,92	425.346.735,26	26.979.729,66	5,96%

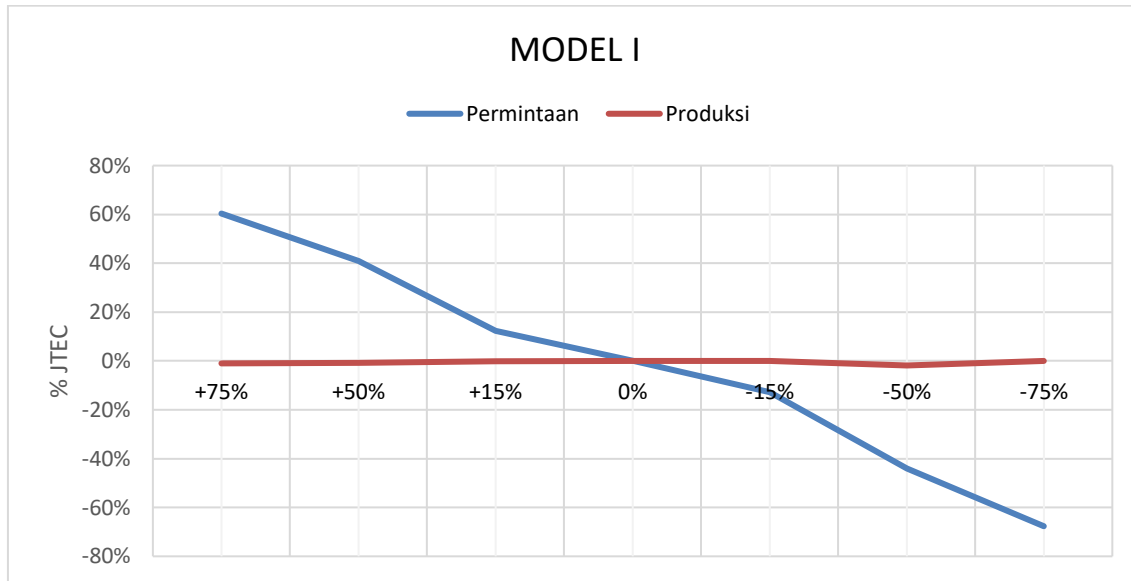


Gambar 5.5 Perbandingan Komponen Total Biaya Model II Dengan Model III

Pada Tabel 5.6 dan Gambar 5.5 menunjukkan komponen biaya pada Titin Batik terdiri dari biaya pesan, biaya simpan, biaya kekurangan, biaya percepatan *leadtime*, biaya logistik, biaya *pickup service* dan biaya investasi penurunan biaya pesan. Pada model III menghasilkan frekuensi pemesanan lebih banyak dibanding model II dikarenakan ukuran *lot*-nya lebih kecil (951,05 unit) dibandingkan dari model II (1.098,19 unit). Akan tetapi pada model III telah mengoptimalkan biaya pesan dari Rp 350.000/pesan menjadi Rp 13.478/pesan dengan melakukan investasi sebesar Rp 721.031,40 seperti memasang wifi dengan menggunakan aplikasi berbasis internet yang mengurangi penggunaan tinta dan kertas (*paperless*). Jadi, walaupun pada model III menghasilkan frekuensi pemesanan yang lebih banyak dibandingkan model II namun biaya pesan yang dihasilkan lebih optimal dan lebih kecil sehingga menghasilkan penghematan yang signifikan yaitu Rp 4.757.445,20 atau 95,55%. Pada model III menghemat komponen biaya simpan sebesar 11,09% karena pada model III telah mengoptimalkan ukuran *lot*, *safety factor* dan biaya *backorder* yang memiliki pengaruh pada biaya simpan. Pada komponen biaya kekurangan dalam model III memberikan penghematan yang cukup signifikan yaitu sebesar 1,57% karena model III menghasilkan ukuran *lot* yang lebih kecil dengan mengoptimalkan *safety factor* dan biaya *backorder* sehingga mempengaruhi jumlah terjadinya *shortage* menjadi

lebih kecil dan lebih menekan biaya kekurangan dibandingkan model II. Pada model III memiliki *leadtime* yang sama dengan model II yaitu 14 hari namun ukuran *lot* yang dihasilkan lebih kecil sehingga pada biaya *crashing leadtime* tidak memberikan penghematan dibandingkan dengan model II. Pada komponen biaya logistik dan *pickup service* dalam model III tidak memberikan penghematan yang signifikan yaitu -1,21% dan -15,47% karena dipengaruhi dari hasil ukuran *lot* yang lebih kecil sehingga mengakibatkan frekuensi pengirimannya menjadi lebih banyak dibandingkan dengan model II. Dalam model III Titin Batik telah mempertimbangkan adanya investasi penurunan biaya pesan yang belum dipertimbangkan pada model II.

El-Rahma Batik mempunyai komponen biaya yang terdiri dari biaya *setup*, biaya simpan, biaya *rework*, biaya investasi perbaikan kualitas, dan biaya investasi penurunan biaya *setup*. Pada model III menghasilkan frekuensi *setup*-nya lebih banyak dibandingkan model II dikarenakan ukuran *batch*-nya pada model III lebih kecil yaitu 951,05 unit (1 kali x 951,05 unit) sedangkan jumlah *batch* produksi pada model II yang dihasilkan lebih besar yaitu 2.196 unit (2 kali x 1.098,19 unit). Akan tetapi pada model III telah mengoptimalkan biaya *setup* dari Rp. 2.155.833/*setup* menjadi Rp 77.012/*setup* dengan investasi penurunan biaya *setup* sebesar Rp. 4.214.949,82/tahun. Dengan adanya investasi tersebut dapat menurunkan total biaya *setup* tahunan dari model II yaitu Rp. 15.333.614,87/tahun menjadi Rp. 1.265.000,00/tahun pada model III, sehingga memberikan penghematan yang sangat besar yaitu Rp. 14.068.614,87/tahun (91,75%). Pada komponen biaya simpan memberikan penghematan sebesar 55,31% karena dipengaruhi jumlah *batch* produksi pada model III lebih sedikit dibandingkan jumlah *batch* produksi pada model II. Pada komponen biaya *rework* tidak memberikan penghematan antara model III dan model II karena adanya jumlah yang sama pada produk *rework* yang dipengaruhi oleh ukuran *batch* produksi pada kedua model. Pada El Rahma Batik untuk model III mengoptimalkan probabilitas *out-of-control* dan menekan biaya *rework* dengan probabilitas *out-of-control* dari 0,000007653 menjadi 0,000017674 sehingga memberikan penghematan secara signifikan yaitu sebesar 21,16%.



Gambar 5.6 Analisis Sensitivitas Pada Model I

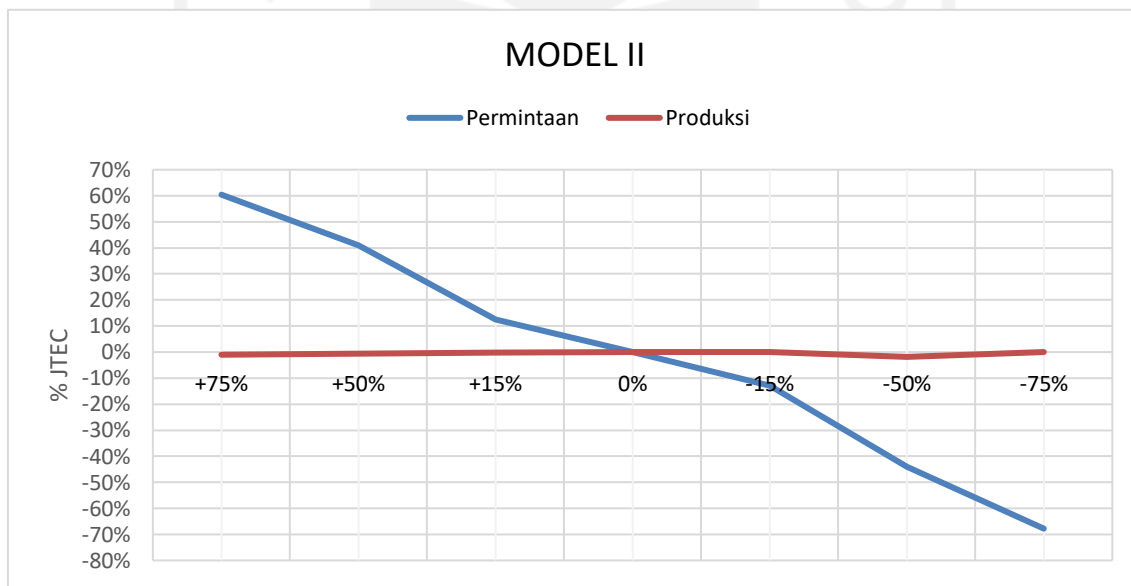
Tabel 5.7 dan Gambar 5.6 pada analisis sensitivitas parameter permintaan dapat dijelaskan bahwa jika permintaan produk batik pada Titin Batik mengalami kenaikan sebesar 15% dari kondisi normal 15.622 unit/tahun menjadi 17.965 unit/tahun maka total biaya sistem gabungan (*JTEC*) yang diperoleh meningkat sebesar 12,41% dari *JTEC* awal yaitu Rp. 452.955.536,40/tahun menjadi Rp. 509.183.804,80/tahun. Apabila permintaan produk batik pada Titin Batik mengalami penurunan sebesar 15% dari kondisi awal yaitu 15.622 unit/tahun menjadi 13.279 unit/tahun maka *JTEC* akan mengalami penurunan sebesar 12,85% atau turun dari kondisi awal sebesar Rp. 452.955.536,40/tahun menjadi Rp. 394.729.073,46/tahun. Selanjutnya jika permintaan produk batik mengalami peningkatan sebesar 50% dari kondisi awal yaitu 23.433 unit/tahun maka *JTEC* yang diperoleh mengalami kenaikan sebesar 40,90% atau Rp. 638.200.595,45/tahun. Sebaliknya jika permintaan produk pada Titin Batik mengalami penurunan sebesar 50% maka *JTEC* yang diperoleh mengalami penurunan sebesar 43,95% atau Rp. 253.873.291,46/tahun. Kemudian jika permintaan produk batik meningkat drastis yaitu sebesar 75% dari kondisi awal yaitu 27.339 unit/tahun maka *JTEC* akan mengalami kenaikan sebesar 60,35% atau Rp/ 726.320.580,59/tahun. Sebaliknya jika permintaan batik mengalami penurunan yang drastis yaitu sebesar 75% dari kondisi awal atau 3.906

unit/tahun maka *JTEC* akan mengalami penurunan Rp. 146.423.247,74/tahun atau 67,67%. Sehingga pada Tabel 5.7 dan Gambar 5.6 ini dapat disimpulkan dengan *range* perubahan untuk parameter permintaan produk batik pada Titin Batik pada model I dari -75% sampai dengan +75% diperoleh *range* perubahan *JTEC* dari -67,67% sampai dengan +60,35%.

Selanjutnya pada tabel tersebut juga akan dilakukan analisis sensitivitas produksi batik pada El-Rahma Batik. Jika produksi batik pada El-Rahma Batik mengalami peningkatan sebesar 15% dari kondisi normal yaitu 34.811 unit/tahun maka *JTEC* yang diperoleh akan mengalami penurunan sebesar 0,19% atau Rp. 452.081.695,16/tahun dari kondisi awal. Kemudian jika produksi batik pada El-Rahma Batik mengalami penurunan sebesar 15% dari kondisi awal yaitu 25.730 unit/tahun maka *JTEC* yang akan diperoleh tidak mengalami perubahan dari kondisi awal atau tetap. Kemudian jika produksi batik dinaikan sebesar 50% atau 45.405 unit/tahun dari kondisi awal maka *JTEC* yang diperoleh akan mengalami penurunan sebesar Rp. 449.758.230,91/tahun atau 0,71% dari kondisi awalnya. Begitu juga ketika produksi batik diturunkan sebesar 50% maka *JTEC* yang diperoleh juga akan mengalami penurunan sebesar 1,85% atau Rp. 444.558.349,11/tahun. Dan kemudian jika produksi El-Rahma Batik ditingkatkan menjadi 75% dari kondisi awal yaitu 52.973 unit/tahun maka *JTEC* yang dihasilkan akan mengalami penurunan 0,95% atau Rp. 448.648.864,87/tahun. Namun sebaliknya jika produksi diturunkan 75% dari kondisi awal yaitu 7.568 unit/tahun maka *JTEC* tidak dapat dihitung hal ini dikarenakan kapasitas produksi lebih kecil dari pada permintaan. Sehingga pada Tabel 5.7 dan Gambar 5.6 menunjukkan *range* perubahan untuk parameter produksi pada El-Rahma Batik pada model I dari -75% sampai dengan +75% diperoleh *range* perubahan *JTEC* dari tidak tersedia sampai dengan -0,95%.

Tabel 5.8 Analisis Sensitivitas Pada Model II

Parameter	% Perubahan Parameter	Nilai Parameter	L^*	Q^*	θ^*	π_x^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_v(Q,m)$	$JTEC_2$	% Perubahan $JTEC$
Permintaan	+75%	27.339	27	1.287,82	0,000001865	46.603	1,87	4	655.507.152,41	70.084.224,93	725.591.377,34	+60,41%
	+50%	23.433	14	1.355,12	0,000004135	46.909	1,78	2	567.475.380,86	70.108.770,08	637.584.150,94	+40,96%
	+15%	17.965	14	1.180,91	0,000006189	47.136	1,72	2	445.617.728,34	62.941.375,51	508.559.103,85	+12,43%
	0%	15.622	14	1.098,19	0,000007653	47.266	1,69	2	392.901.353,22	59.425.111,71	452.326.464,92	0,00%
	-15%	13.279	14	1.281,91	0,000015426	48.016	1,54	1	339.892.644,86	54.186.405,28	394.079.050,15	-12,88%
	-50%	7.811	14	1.009,49	0,000033301	48.952	1,40	1	213.585.810,97	39.618.089,11	253.203.900,08	-44,02%
	-75%	3.906	14	717,94	0,000093638	50.512	1,22	1	119.296.467,74	26.434.711,41	145.731.179,15	-67,78%
Produksi	+75%	52.973	14	1.439,95	0,000011673	47.892	1,56	1	393.424.763,72	54.577.151,25	448.001.914,97	-0,96%
	+50%	45.405	14	1.424,12	0,000011803	47.863	1,57	1	393.304.248,87	55.807.766,28	449.112.015,15	-0,71%
	+15%	34.811	14	1.392,10	0,000012074	47.804	1,58	1	393.083.000,15	58.353.989,10	451.436.989,25	-0,20%
	0%	30.270	14	1.098,19	0,000007653	47.266	1,69	2	392.901.353,22	59.425.111,71	452.326.464,92	0,00%
	-15%	25.730	14	1.098,19	0,000007653	47.266	1,69	2	392.901.353,22	59.425.111,71	452.326.464,92	0,00%
	-50%	15.135	14	1.001,57	0,000001678	47.089	1,73	10	393.875.123,62	50.060.146,31	443.935.269,93	-1,86%
	-75%	7.568	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Gambar 5.7** Analisis Sensitivitas Pada Model II

Pada Tabel 5.8 dan Gambar 5.7 akan dilakukan analisis sensitivitas parameter permintaan Titin Batik dan parameter produksi El-Rahma Batik untuk model II. Pada tabel tersebut menunjukan bahwa jika permintaan produk batik pada Titin Batik dinaikan sebesar 15% atau 17.965 unit/tahun maka $JTEC$ yang dihasilkan meningkat sebesar

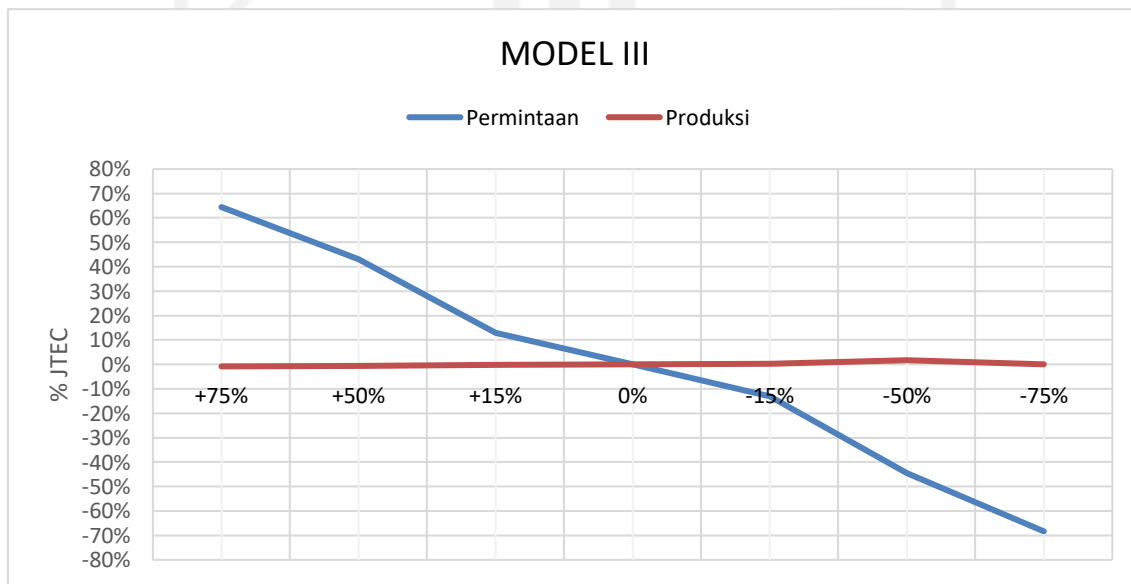
12,43% atau Rp. 508.559.103,85/tahun. Sebaliknya jika permintaan produk batik pada Titin Batik diturunkan sebesar 15% atau 13.279 unit/tahun maka *JTEC* mengalami penurunan sebesar 12,88% atau Rp 394.079.050,15/tahun. Apabila permintaan produk batik ditingkatkan sebesar 50% yaitu 23.433 unit/tahun maka *JTEC* akan mengalami kenaikan sebesar 40,96% atau Rp. 637.584.150,94/tahun. Kemudian jika permintaan produk batik diturunkan sebesar 50% maka *JTEC* yang diperoleh mengalami penurunan sebesar 44,02% atau Rp 253.203.900,08/tahun. Kemudian jika permintaan produk batik ditingkatkan secara drastis yaitu sebesar 75% dari kondisi awal yaitu 27.339 unit/tahun maka *JTEC* akan naik sebesar 60,41% atau Rp. 725.591.377,34/tahun. Sebaliknya jika permintaan batik diturunkan drastis yaitu sebesar 75% dari kondisi awal atau 3.906 unit/tahun maka *JTEC* akan mengalami penurunan sebesar Rp. 145.731.179,15/tahun (67,78%) dari kondisi awalnya. Dari analisis sensitivitas parameter permintaan produk Titin Batik yang dilakukan pada model II didapatkan kesimpulan *range* perubahan untuk parameter permintaan dari -75% sampai dengan +75% diperoleh *range* perubahan *JTEC* dari -67,78% sampai dengan +60,41%.

Selanjutnya paramater produksi batik pada El-Rahma Batik juga dilakukan analisis sensitivitas yang ditunjukan pada Tabel 5.8. Apabila produksi pada El-Rahma Batik ditingkatkan sebesar 15% dari kondisi awal yaitu 34.811 unit/tahun maka *JTEC* yang diperoleh akan turun sebesar 0,20% atau menjadi Rp. 451.436.989,25/tahun. Akan tetapi jika produksi pada El-Rahma Batik diturunkan sebesar 15% dari kondisi awal yaitu 25.730 unit/tahun maka *JTEC* yang akan diperoleh tidak mengalami perubahan dari kondisi awal atau tetap. Selanjutnya jika produksi batik dinaikan sebesar 50% atau 45.405 unit/tahun dari kondisi awal maka *JTEC* yang diperoleh akan mengalami penurunan sebesar 0,71% atau Rp. 449.112.015,15/tahun dari kondisi awalnya. Begitu juga ketika produksi batik diturunkan sebesar 50% maka *JTEC* yang diperoleh juga akan mengalami penurunan sebesar 1,86% atau Rp. 443.935.269,93/tahun. Jika produksi El-Rahma Batik ditingkatkan lebih tinggi yaitu menjadi 75% dari kondisi awal yaitu 52.973 unit/tahun maka *JTEC* yang dihasilkan akan mengalami penurunan sebesar 0,96% atau Rp. 448.001.914,97/tahun dari kondisi awal. Akan tetapi jika produksi diturunkan sebesar 75% dari kondisi awal yaitu

7.568 unit/tahun maka *JTEC* tidak dapat diperoleh dikarenakan kapasitas produksi lebih kecil dari pada permintaan. Pada Tabel 5.8 dan Gambar 5.7 menunjukkan hasil analisis sensitivitas parameter produksi pada El-Rahma Batik pada model II yang menghasilkan *range* perubahan produksi dari -75% sampai dengan +75% diperoleh *range* perubahan *JTEC* dari tidak tersedia sampai dengan -0,96%.

Tabel 5.9 Analisis Sensitivitas Pada Model III

Parameter	% Perubahan Parameter	Nilai Parameter	L^*	Q^*	θ^*	π_x^*	A^*	S^*	k^*	m^*	$TEC_b(Q,k,L)$	$TEC_m(Q,m)$	$JTEC_3$	% Perubahan <i>JTEC</i>
Permintaan	+75%	27.339	27	1.149,16	0,000008358	46.458	9.306	53.172	1,92	1	650.868.907,24	48.612.815,55	699.481.722,79	+64,45%
	+50%	23.433	27	1.087,52	0,000010304	46.583	10.274	58.708	1,87	1	564.611.037,75	44.265.856,37	608.876.894,12	+43,15%
	+15%	17.965	14	1.006,40	0,000014524	46.858	12.402	70.865	1,79	1	442.502.148,89	38.316.296,03	480.818.444,91	+13,04%
	0%	15.622	14	951,05	0,000017674	46.997	13.478	77.012	1,76	1	389.875.106,38	35.471.628,89	425.346.735,26	0,00%
	-15%	13.279	14	888,41	0,000022258	47.169	14.812	84.633	1,71	1	336.898.434,59	32.512.240,25	369.410.674,84	-13,15%
	-50%	7.811	14	700,38	0,000047999	47.820	19.851	113.427	1,58	1	211.175.182,86	24.694.707,22	235.869.890,08	-44,55%
	-75%	3.906	14	499,33	0,000134634	48.912	28.301	161.712	1,40	1	117.840.205,39	16.840.924,00	134.681.129,39	-68,34%
Produksi	+75%	52.973	14	997,81	0,000016846	47.082	14.140	80.798	1,73	1	389.379.518,30	32.570.132,18	421.949.650,48	-0,80%
	+50%	45.405	14	986,81	0,000017033	47.062	13.985	79.908	1,74	1	389.480.721,61	33.238.150,82	422.718.872,43	-0,62%
	+15%	34.811	14	964,57	0,000017426	47.021	13.669	78.107	1,75	1	389.713.878,72	34.615.969,75	424.329.848,47	-0,24%
	0%	30.270	14	951,05	0,000017674	46.997	13.478	77.012	1,76	1	389.875.106,38	35.471.628,89	425.346.735,26	0,00%
	-15%	25.730	14	933,64	0,000018003	46.965	13.231	75.602	1,76	1	390.105.573,76	36.594.381,20	426.699.954,96	0,32%
	-50%	15.135	14	863,53	0,000019465	46.836	12.237	69.924	1,80	1	391.325.546,55	41.388.351,00	432.713.897,55	+1,73%
	-75%	7.568	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Gambar 5.8 Analisis Sensitivitas Pada Model III

Hal yang serupa juga dilakukan analisis sensitivitas permintaan pada Titin Batik dan parameter produksi pada El-Rahma Batik untuk model III yang ditunjukkan Tabel 5.9 dan Gambar 5.8. Pada tabel tersebut dapat dilihat jika permintaan produk batik mengalami kenaikan sebesar 15% maka akan menghasilkan *JTEC* yang meningkat sebesar 13,04%. Kemudian jika permintaan produk batik mengalami penurunan sebesar 15% maka *JTEC* mengalami penurunan sebesar 13,15%. Apabila permintaan produk batik meningkat menjadi sebesar 50% maka *JTEC* akan mengalami kenaikan 43,15%. Sebaliknya jika permintaan produk batik mengalami penurunan 50% maka *JTEC* yang diperoleh akan mengalami penurunan sebesar 44,55%. Selanjutnya jika permintaan produk batik mengalami peningkatan yang cukup signifikan yaitu sebesar 75% maka *JTEC* yang diperoleh akan mengalami peningkatan sebesar 64,45%. Ketika permintaan batik mengalami penurunan yaitu sebesar 75% maka *JTEC* akan mengalami penurunan yang cukup signifikan yaitu sebesar 68,34%. Sehingga dapat dilihat pengaruh perubahan parameter permintaan produk pada Titin Batik yang dilakukan pada model III didapatkan *range* perubahan untuk parameter permintaan dari -75% sampai dengan +75% diperoleh *range* perubahan *JTEC* dari -68,34% sampai dengan +64,45%.

Pada analisis terakhir dilakukan analisis sensitivitas produksi pada El-Rahma Batik untuk model III. Adapun analisis yang dilakukan jika produksi pada El-Rahma Batik ditingkatkan sebesar 15% maka *JTEC* yang diperoleh akan turun sebesar 0,24%. Namun, jika produksi pada El-Rahma Batik dilakukan penurunan sebesar 15% maka *JTEC* yang diperoleh akan mengalami peningkatan 0,32%. Selanjutnya ketika produksi batik dinaikan sebesar 50% maka *JTEC* yang diperoleh akan mengalami penurunan sebesar 0,62%. Sebaliknya jika produksi batik diturunkan sebesar 50% maka *JTEC* yang diperoleh juga akan mengalami peningkatan sebesar 1,73%. Jika produksi El-Rahma Batik meningkat lebih tinggi yaitu menjadi 75% maka *JTEC* yang dihasilkan akan mengalami penurunan sebesar 0,80%. Namun jika produksi menurun sebesar 75% dari kondisi awal yaitu 7.568 unit/tahun maka *JTEC* tidak dapat dihitung karena kapasitas produksi lebih kecil dari pada permintaan. Oleh karena itu, Tabel 5.9 dan Gambar 5.8 menunjukkan hasil analisis sensitivitas parameter produksi pada El-Rahma Batik pada model III yang menghasilkan

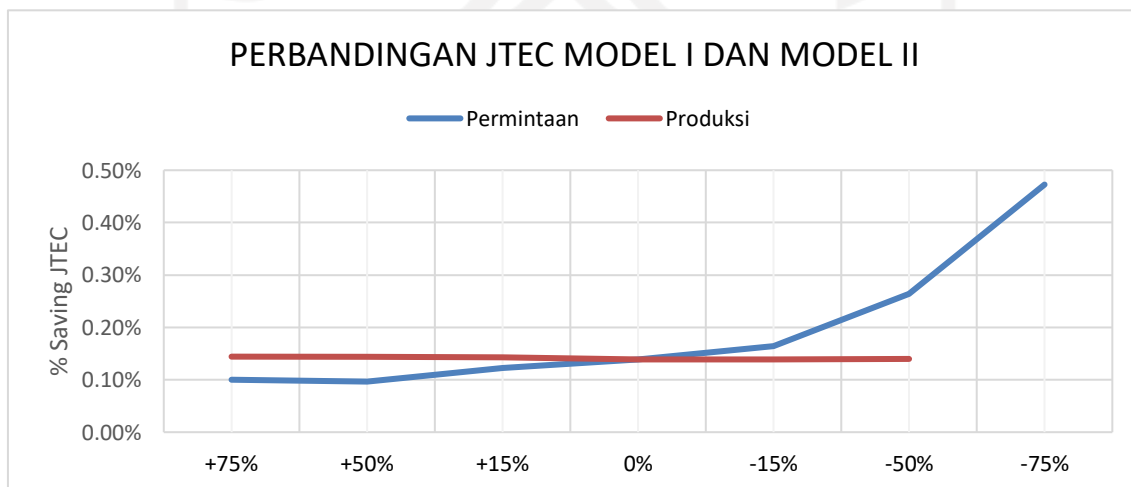
range perubahan produksi dari -75% sampai dengan +75% diperoleh *range* perubahan *JTEC* dari tidak tersedia sampai dengan -0,80%.

5.3.2 Analisis Perbandingan Sensitivitas

Setelah diperoleh hasil analisis sensitivitas pada tiap model seperti yang telah dijelaskan pada *subbab* 5.3.1, selanjutnya penelitian ini dilakukan analisis perbandingan sensitivitas untuk pengambil keputusan suatu perusahaan dalam menentukan kebijakan yang terbaik.

Tabel 5.10 Analisis Perbandingan Sensitivitas Pada Model I dan Model II

Parameter	% Perubahan Parameter	Nilai Parameter	<i>JTEC</i> ₁	<i>JTEC</i> ₂	Penghematan biaya	
					Rp/tahun	%
Permintaan	+75%	27.339	726.320.580,59	725.591.377,34	729.203,25	0,10%
	+50%	23.433	638.200.595,45	637.584.150,94	616.444,52	0,10%
	+15%	17.965	509.183.804,80	508.559.103,85	624.700,95	0,12%
	0%	15.622	452.955.536,40	452.326.464,92	629.071,48	0,14%
	-15%	13.279	394.729.073,46	394.079.050,15	650.023,32	0,16%
	-50%	7.811	253.873.291,46	253.203.900,08	669.391,38	0,26%
	-75%	3.906	146.423.247,74	145.731.179,15	692.068,59	0,47%
Produksi	+75%	52.973	448.648.864,87	448.001.914,97	646.949,90	0,14%
	+50%	45.405	449.758.230,91	449.112.015,15	646.215,76	0,14%
	+15%	34.811	452.081.695,16	451.436.989,25	644.705,92	0,14%
	0%	30.270	452.955.536,40	452.326.464,92	629.071,48	0,14%
	-15%	25.730	452.955.536,40	452.326.464,92	629.071,48	0,14%
	-50%	15.135	444.558.349,11	443.935.269,93	623.079,17	0,14%
	-75%	7.568	-	-	-	-



Gambar 5.9 Analisis Perbandingan Sensitivitas Pada Model I dan Model II

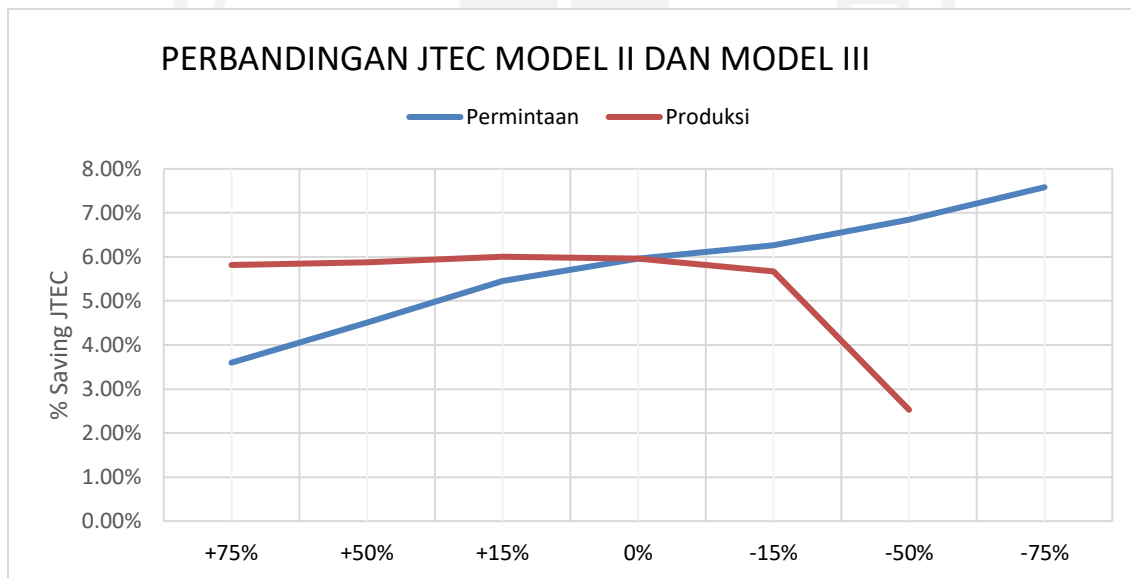
Pada Tabel 5.10 dan Gambar 5.9 dapat menjelaskan analisis perbandingan sensitivitas pada Model I dan Model II untuk perubahan parameter permintaan dan produksi dengan range -75% sampai dengan 75%. Pada Tabel 5.10 dan Gambar 5.9 terlihat ketika parameter permintaan mengalami kenaikan sebesar 15% dari kondisi awal maka model II bila dibandingkan dengan Model I maka dapat memberikan penghematan *JTEC* sebesar 0,12% atau Rp 624.700,95/tahun. Selanjutnya pada saat permintaan naik sebesar 50% dari kondisi awal maka Model II memberikan penghematan pada *JTEC* sebesar 0,10% atau Rp 616.444,52/tahun dari Model I. Begitu juga ketika permintaan naik 75% maka Model II dapat memberikan penghematan sebesar 0,10% atau Rp 729.203,25/tahun. Sebaliknya ketika permintaan mengalami penurunan sebesar 15% dari kondisi awal maka model II memberikan penghematan pada *JTEC* sebesar Rp 650.023,32/tahun atau 0,16%. Kemudian pada saat permintaan mengalami penurunan sebesar 50% maka Model II memberikan penghematan pada *JTEC* sebesar 0,26% atau Rp 669.391,38/tahun. Terakhir ketika permintaan menurun cukup drastis yaitu 75% maka Model II memberikan penghematan 0,47% atau Rp 692.068,59/tahun dari model sebelumnya.

Kemudian pada parameter produksi ketika meningkat sebesar 15% dari kondisi awal maka Model II dapat memberikan penghematan pada *JTEC* sebesar 0,14% atau Rp 644.705,92/tahun dari Model I. Bahkan pada saat produksi meningkat cukup tinggi sebesar 75% maka model II memberikan penghematan yang tidak terlalu signifikan yaitu 0,14% atau Rp 646.949,90/tahun. Sebaliknya jika produksi mengalami penurunan sebesar 15% dan 50% maka Model II memberikan penghematan berturut-turut yaitu 0,14% atau Rp 629.071,48/tahun dan 0,14% atau Rp 623.079,17/tahun dari model sebelumnya. Akan tetapi ketika produksi mengalami penurunan sebesar 75% maka *JTEC* tidak dapat dihitung sehingga tidak ada penghematan karena kapasitas produksi lebih kecil dari permintaan.

Tabel 5.11 Analisis Perbandingan Sensitivitas Pada Model II dan Model III

Parameter	% Perubahan Parameter	Nilai Parameter	<i>JTEC</i> ₂	<i>JTEC</i> ₃	Penghematan biaya	
					Rp/tahun	%
Permintaan	+75%	27.339	725.591.377,34	699.481.722,79	26.109.654,55	3,60%
	+50%	23.433	637.584.150,94	608.876.894,12	28.707.256,82	4,50%
	+15%	17.965	508.559.103,85	480.818.444,91	27.740.658,93	5,45%

Parameter	% Perubahan Parameter	Nilai Parameter	<i>JTEC</i> ₂	<i>JTEC</i> ₃	Penghematan biaya	
					Rp/tahun	%
	0%	15.622	452.326.464,92	425.346.735,26	26.979.729,66	5,96%
	-15%	13.279	394.079.050,15	369.410.674,84	24.668.375,31	6,26%
	-50%	7.811	253.203.900,08	235.869.890,08	17.334.010,00	6,85%
	-75%	3.906	145.731.179,15	134.681.129,39	11.050.049,75	7,58%
Produksi	+75%	52.973	448.001.914,97	421.949.650,48	26.052.264,49	5,82%
	+50%	45.405	449.112.015,15	422.718.872,43	26.393.142,72	5,88%
	+15%	34.811	451.436.989,25	424.329.848,47	27.107.140,78	6,00%
	0%	30.270	452.326.464,92	425.346.735,26	26.979.729,66	5,96%
	-15%	25.730	452.326.464,92	426.699.954,96	25.626.509,96	5,67%
	-50%	15.135	443.935.269,93	432.713.897,55	11.221.372,39	2,53%
	-75%	7.568	-	-	-	-



Gambar 5.10 Analisis Perbandingan Sensitivitas Pada Model II dan Model III

Pada Tabel 5.11 dan Gambar 5.10 menjelaskan analisis perbandingan sensitivitas pada Model II dan Model III untuk perubahan parameter permintaan dan produksi dengan range -75% sampai dengan 75%. Pada saat permintaan mengalami kenaikan sebesar 15% dari kondisi awal maka Model III memberikan penghematan pada *JTEC* sebesar 5,45% atau Rp 27.740.658,93/tahun dari Model II. Selanjutnya pada saat permintaan naik sebesar 50% maka Model III memberikan penghematan pada *JTEC* sebesar 4,5% atau Rp 28.707.256,82/tahun dari Model II. Kemudian ketika permintaan mengalami peningkatan

yang cukup tinggi sebesar 75% dari kondisi awal maka Model III memberikan penghematan *JTEC* sebesar 3,6% atau Rp 26.109.654,55/tahun dari Model II. Sebaliknya jika permintaan mengalami penurunan sebesar 15% maka Model III memberikan penghematan 6,26% atau Rp 24.668.375,31/tahun. Kemudian pada saat permintaan menurun sebesar 50% maka Model III memberikan penghematan sebesar 6,85% atau Rp 17.334.010,00/tahun dari sebelumnya. Terakhir ketika permintaan mengalami penurunan sebesar 75% maka Model III memberikan penghematan 7,58% atau Rp 11.050.049,75/tahun dari Model II.

Kemudian pada tingkat produksi ketika mengalami peningkatan sebesar 15% dari kondisi awal maka Model III memberikan penghematan pada *JTEC* sebesar 6,00% atau Rp 27.107.140,78/tahun dari Model II. Kemudian ketika produksi meningkat sebesar 50% maka model III memberikan penghematan yang signifikan yaitu 5,88% atau Rp 26.393.142,72/tahun. Terakhir ketika produksi ditingkatkan menjadi 75% maka Model III memberikan penghematan pada *JTEC* sebesar 5,82% atau Rp 26.052.264,49/tahun. Sebaliknya jika produksi mengalami penurunan sebesar 15% maka Model III memberikan penghematan yaitu 5,67% atau Rp 25.626.509,96/tahun dari model sebelumnya. Selanjutnya jika produksi mengalami penurunan sebesar 75% maka *JTEC* tidak dapat dihitung sehingga tidak ada penghematan karena kapasitas produksi lebih kecil dari permintaan.

Sebagaimana hasil dari perhitungan total biaya pada El-Rahma Batik dan Titin Batik untuk kondisi aktual perusahaan yang cukup tinggi dan masih bersifat transaksional, oleh karena itu penelitian ini membangun model-model yang optimal sehingga dapat memberikan kontribusi penurunan total biaya gabungan perusahaan secara *continuous improvement*. Kontribusi tersebut secara langsung juga dapat meningkatkan kerjasama yang baik dan jangka panjang antara El-Rahma Batik dan Titin Batik.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada Bab ini menunjukkan kesimpulan dari hasil yang didapat dari penelitian pada tesis ini yang ditunjukkan pada *subbab* 6.1. Selanjutnya bab ini juga berisi saran-saran penelitian yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya mengenai inventori dan saran untuk perusahaan dalam mengimplementasikan pengembangan model dalam dunia praktisi (*subbab* 6.2).

6.1 Kesimpulan

Dalam kesimpulan penelitian ini dapat menjawab pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan sebelumnya. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan penelitian yaitu sebagai berikut:

Dalam penelitian ini telah berhasil mengembangkan 3 model persediaan terintegrasi pada sebuah sistem rantai pasok. Penelitian ini mensintesis tiga penelitian terdahulu yaitu Wangsa dan Wee (2017), Sarkar & Giri (2020), dan Tiwari *et al.* (2020). Penelitian ini mempertimbangkan kondisi permintaan yang probabilistik, proses produksi yang tidak sempurna sehingga menghasilkan produk cacat, investasi perbaikan kualitas proses produksi untuk menekan biaya *rework* dan probabilitas produk cacat, percepatan *lead time*, *backorder price discount* (BPD), dan investasi penurunan terhadap biaya pesan dan biaya *setup* serta mempertimbangkan biaya logistik dan kebijakan *pick-up service*. Penelitian ini dimulai dengan memodifikasi dari model dasar yaitu model Wangsa dan Wee (2017) sesuai karakteristik sistem nyata. Selanjutnya dari model modifikasi Wangsa dan Wee (2017) tersebut dilakukan pengembangan untuk Model I dengan variabel keputusan yang dioptimalkan adalah ukuran *lot* pemesanan gabungan, ukuran *lot* produksi, *safety factor* (untuk mengoptimalkan *safety stock* dan *shortage*), *lead time*, dan probabilitas *out-of-control*. Selanjutnya, Model II merupakan pengembangan dari Model I dengan mengoptimalkan variabel keputusan yang sama dari Model I dan tambahan

variabel keputusan yaitu biaya *backorder* yang optimal. Terakhir, Model III merupakan pengembangan berkelanjutan dari Model II yang mengoptimalkan biaya pesan dan biaya *setup* dengan adanya investasi. Variabel-variabel keputusan yang dikembangkan pada setiap model dioptimalkan dengan menggunakan metode diferensial untuk meminimiasi total biaya gabungan (*JTEC*). Sebagai implementasi model, penelitian ini melakukan studi kasus di El-Rahma Batik sebagai pemasok tunggal produk pakaian batik dan Titin Batik sebagai pembeli tunggalnya. Dari hasil dari penelitian pada studi kasus yang dilakukan diperoleh hasil yaitu:

- a. Model I memberikan penghematan pada total biaya gabungan sebesar Rp 94.617.858,36/tahun atau 17,28% dibandingkan dari hasil model dasar.
- b. Selanjutnya pada Model II memberikan penghematan total biaya gabungan sebesar Rp 629.071,48/tahun atau 0,14% dibandingkan dari Model I.
- c. Terakhir pada Model III memberikan penghematan total biaya sistem yang cukup signifikan dari model II yaitu sebesar Rp 26.979.729,66/tahun (5,96%).

Model-model tersebut dapat diimplementasikan pada perusahaan yang lain sebagai perbaikan sistem secara berkala (*continous improvement*). Selain itu juga model-model ini dapat menjadi tambahan wawasan pengambilan keputusan untuk mengoptimalkan biaya dengan mempertimbangkan sumberdaya yang dimiliki perusahaan.

6.2 Saran

6.2.1 Saran Bagi Perusahaan

Pada tesis ini, penelitian dilakukan pada El-Rahma Batik sebagai pemasok tunggal dan Titin Batik sebagai pembeli tunggal produk pakaian batik dengan karakteristik kondisi riil yaitu proses produksi tidak sempurna. Dari ketiga model ini, adapun beberapa 3 (tiga) strategi perusahaan yang dapat dilakukan untuk meminimalkan total biaya gabungan, yaitu:

- a. Pada model I merupakan model yang meminimalkan total biaya *rework* dengan mengoptimalkan jumlah produk *rework*. Dalam rangka perusahaan ingin meminimalkan total biaya pada proses produksi tidak sempurna, El-Rahma Batik

dapat melakukan investasi perbaikan kualitas proses produksinya. Beberapa strategi investasi perbaikan kualitas yang dapat dilakukan perusahaan adalah meningkatkan kapasitas dan kualitas produksinya dengan menambah alat/mesin yang lebih canggih atau tenaga ahli yang berkompeten dengan tujuan meminimasi kesalahan dari manusia (*human error*) sehingga dapat mengurangi kerugian perusahaan

- b. Pada model II merupakan model dengan tujuan meminimalkan total biaya *shortage* akibat dari permintaan yang probabilistik. Strategi perusahaan diantaranya adalah El-Rahma Batik dapat melakukan pemotongan harga *backorder* atau *backorder price discount* dengan mempertimbangkan percepatan *leadtime*. Kemudian dari hasil selisih potongan yang diberikan dari El-Rahma Batik kepada Titin Batik dapat diberikan kepada pelanggan akhir berupa kompensasi seperti *cashback*, *souvenir*, *gift*, atau *voucher* karena bersedia menunggu sampai barang tersebut diterima pelanggan akhir. Dengan strategi tersebut Titin Batik dapat menjaga *service level*-nya.
- c. Pada model III, dengan tujuan mengoptimalkan total biaya sistem rantai pasok pada biaya *non-added value* seperti biaya pesan dan *setup*, maka kedua perusahaan bekerjasama dapat melakukan usaha menurunkan kedua biaya tersebut dengan menambah investasi penurunan biaya pesan dan *setup*. Investasi tersebut harus memperhatikan berapa besar biaya yang dikeluarkan dengan persentase penurunan yang dihasilkan. Misalkan biaya pemesanan awal timbul biaya telepon, *faximile*, administrasi, dan lainnya. Sedangkan investasinya adalah melakukan pemasangan jaringan internet (Wifi) kepada perusahaan, memfasilitasi telepon gratis dan aplikasi yang berbasis internet seperti email dan aplikasi lainnya sehingga mengurangi penggunaan kertas, tinta dan operasional lainnya. Adapun investasi penurunan biaya *setup* perusahaan yaitu melakukan perawatan mesin secara berkala, memberikan tanda visual untuk mempermudah pekerja untuk mengoperasikan permesinan sehingga dapat mempersingkat waktu *setup*.

6.2.2 Saran Penelitian Selanjutnya

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan pada area penelitian model *JELS* dengan mempertimbangkan beberapa aspek diantaranya:

1. Model dapat dikembangkan dengan memperhatikan aspek *sustainability* seperti emisi karbon pada pemasok, pembeli dan proses pengiriman.
2. Model dapat dikembangkan menjadi lebih kompleks seperti: i) multi pembeli, ii) multi pemasok, dan iii) multi eselon (layer dalam rantai pasok).
3. Selanjutnya model dapat dilakukan pengembangan dengan kriteria performansi yang memaksimalkan total keuntungan gabungan dalam sistem rantai pasok.
4. Model dapat dilakukan perbandingan dengan optimalisasi menggunakan metode metaheuristik seperti Algoritma Genetik (AG) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Abad, P. L., & Aggarwal, V. (2005). Incorporating transport cost in the lot size and pricing decisions with downward sloping demand. *International Journal of Production Economics*, 95(3), 297–305.
- Bahagia. (2006). *Sistem Inventori*. ITB.
- Ben-Daya, M., & Hariga, M. (2004). Integrated single vendor single buyer model with stochastic demand and variable lead time. *International Journal of Production Economics*, 92(1), 75–80.
- Chang, H. C., Ouyang, L. Y., Wu, K. S., & Ho, C. H. (2006). Integrated vendor-buyer cooperative inventory models with controllable lead time and ordering cost reduction. *European Journal of Operational Research*, 170(2), 481–495.
- Cohen, S., & Roussel, J. (2005). *Strategic Supply Chain Management*. MGH.
- Darwish, M. A. (2008). Joint determination of order quantity and reorder point of continuous review model under quantity and freight rate discounts. *Computers and Operations Research*, 35(12), 3902–3917.
- Ertogral, K., Darwish, M., & Ben-Daya, M. (2007). Production and shipment lot sizing in a vendor-buyer supply chain with transportation cost. *European Journal of Operational Research*, 176(3), 1592–1606.
- Fogarty, D. W., Blackstone, J. H., & Hoffmann, T. . (1991). *Production & inventory management*. Cincinnati, South-Western Publishing Co.
- Glock, C. H. (2012). Lead time reduction strategies in a single-vendorsingle-buyer integrated inventory model with lot size-dependent lead times and stochastic demand. *International Journal of Production Economics*, 136(1), 37–44.
- Goyal, S. K. (1977). An integrated inventory model for a single supplier-single customer problem. *International Journal of Production Research*, 15(1), 107–111.
- Guchhait, R., Dey, B. K., Bhuniya, S., Ganguly, B., Mandal, B., Bachar, R. K., Sarkar, B., Wee, H., & Chaudhuri, K. (2020). Investment for process quality improvement and setup cost reduction in an imperfect production process with warranty policy and shortages. *RAIRO - Operations Research*, 54(1), 251–266.
- Gurtu, A., Jaber, M. Y., & Searcy, C. (2015). Impact of fuel price and emissions on inventory policies. *Applied Mathematical Modelling*, 39(3–4), 1202–1216.
- Hax, A. C., & Candea, D. (1984). *Management, Production and Inventory*. Prentice Hall.
- Hoque, M. A. (2013). A vendor-buyer integrated production-inventory model with normal distribution of lead time. *International Journal of Production Economics*, 144(2), 409–417.

- Huang, S. P. (2010). Using simple and efficient algorithm involving ordering cost reduction and backorder price discount on inventory system under variable lead time. *Information Technology Journal*, 804–810.
- Jauhari, W.A., Pujawan, I. N., & Wiratno, S. E. (2009). Model Joint Economic Lot Size Pada Kasus Pemasok-Pembeli Dengan Permintaan Probabilistik. *Jurnal Teknik Industri*, 11(1), 1–14.
- Jauhari, Wakhid Ahmad, Fitriyani, A., & Aisyati, A. (2016). An integrated inventory model for single-vendor single-buyer system with freight rate discount and stochastic demand. *International Journal of Operational Research*, 25(3), 327–350.
- Jauhari, Wakhid Ahmad, Pujawan, I. N., Wiratno, S. E., & Priyandari, Y. (2011). Integrated inventory model for single vendor-single buyer with probabilistic demand. *International Journal of Operational Research*, 11(2), 160–178.
- Jindal, P., & Solanki, A. (2016). Integrated supply chain inventory model with quality improvement involving controllable lead time and backorder price discount. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7(3), 463–480.
- Kurdhi, N. A., & Doewes, R. I. (2019). Periodic review inventory policy with variable ordering cost, lead time, and backorder rate. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 41(1), 1–11.
- Leuveano, R. A. C., Jafar, F. A. B., & Muhamad, M. R. B. (2014). Incorporating Transportation Costs into Integrated Inventory Model for Single Supplier and Single Purchaser. *Advanced Science Letters*, 20(1), 290–293.
- Leuveano, R. A. C., Bin Jafar, F. A., Saleh, C., & Bin Muhamad, M. R. (2014). Incorporating Transportation Cost into Joint Economic Lot Size For Single Vendor-Buyer. *Journal of Software*, 9(5), 1313–1323.
- Liao, C., & Shyu, C. (1991). An Analytical Determination of Lead Time with Normal Demand. *International Journal of Operations & Production Management*, 11(9), 72–78.
- Lin, Y. J. (2009). An integrated vendor-buyer inventory model with backorder price discount and effective investment to reduce ordering cost. *Computers and Industrial Engineering*, 56(4), 1597–1606.
- Lo, M. C., Chao-Hsien Pan, J., Lin, K. C., & Hsu, J. W. (2008). Impact of lead time and safety factor in mixed inventory models with backorder discounts. *JApSc*, 528–533.
- Maddah, B., & Jaber, M. Y. (2008). Economic order quantity for items with imperfect quality: Revisited. *International Journal of Production Economics*, 112(2), 808–815.
- Mendoza, A., & Ventura, J. A. (2008). Incorporating quantity discounts to the EOQ model with transportation costs. *International Journal of Production Economics*, 113(2), 754–765.
- Mukherjee, A., Dey, O., & Giri, B. C. (2019). An integrated imperfect production–

- inventory model with optimal vendor investment and backorder price discount. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 699). Springer Singapore.
- Nie, L., Xu, X., & Zhan, D. (2006). Splitting Decisions for Coordinated Supply Chains. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 5(1), 111–121.
- Ouyang, L. Y., Chen, C. K., & Chang, H. C. (1999). Lead time and ordering cost reductions in continuous review inventory systems with partial backorders. *Journal of the Operational Research Society*, 50(12), 1272–1279.
- Ouyang, Liang Yuh, & Chang, H. C. (2002). Lot size reorder point inventory model with controllable lead time and set-up cost. *International Journal of Systems Science*, 33(8), 635–642.
- Ouyang, Liang Yuh, Chen, C. K., & Chang, H. C. (2002). Quality improvement, setup cost and lead-time reductions in lot size reorder point models with an imperfect production process. *Computers and Operations Research*, 29(12), 1701–1717.
- Ouyang, Liang Yuh, Wu, K. S., & Ho, C. H. (2004). Integrated vendor-buyer cooperative models with stochastic demand in controllable lead time. *International Journal of Production Economics*, 92(3), 255–266.
- Ouyang, Liang Yuh, Wu, K. S., & Ho, C. H. (2007). An integrated vendor-buyer inventory model with quality improvement and lead time reduction. *International Journal of Production Economics*, 108(1–2), 349–358.
- Pan, J. C. H., & Hsiao, Y. C. (2001). Inventory models with back-order discounts and variable lead time. *International Journal of Systems Science*, 32(7), 925–929.
- Pan, J. C. H., & Hsiao, Y. C. (2005). Integrated inventory models with controllable lead time and backorder discount considerations. *International Journal of Production Economics*, 93–94(SPEC.ISS.), 387–397.
- Pan, J. C. H., Lo, M. C., & Hsiao, Y. C. (2004). Optimal reorder point inventory models with variable lead time and backorder discount considerations. *European Journal of Operational Research*, 158(2), 488–505.
- Pan, J. C. H., & Yang, J. S. (2002). A study of an integrated inventory with controllable lead time. *International Journal of Production Research*, 40(5), 1263–1273.
- Porteus, E. L. (1986). Optimal Lot Sizing, Process Quality Improvement and Setup Cost Reduction. *Operations Research*, 34(1), 137–144.
- Pujawan, I. N. (2005). *Supply Chain Management*. Guna Widya.
- Salameh, M. K., & Jaber, M. Y. (2000). Economic production quantity model for items with imperfect quality. *International Journal of Production Economics*, 64, 59–64.
- Sarkar, B., Chaudhuri, K., & Moon, I. (2015). Manufacturing setup cost reduction and quality improvement for the distribution free continuous-review inventory model with a service level constraint. *Journal of Manufacturing Systems*, 34(C), 74–82.
- Sarkar, B., Mandal, B., & Sarkar, S. (2015). Quality improvement and backorder price

- discount under controllable lead time in an inventory model. *Journal of Manufacturing Systems*, 35, 26–36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.11.012>
- Sarkar, B., & Moon, I. (2014). Improved quality, setup cost reduction, and variable backorder costs in an imperfect production process. *International Journal of Production Economics*, 155, 204–213.
- Sarkar, B., Saren, S., Sinha, D., & Hur, S. (2015). Effect of unequal lot sizes, variable setup cost, and carbon emission cost in a supply chain model. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
- Sarkar, S., & Giri, B. C. (2020). Stochastic supply chain model with imperfect production and controllable defective rate. *International Journal of Systems Science: Operations and Logistics*, 7(2), 133–146.
- Tersine, R. J. (1994). *Principles of Inventory and Materials Management*. New Jersey: PTR Prentice-Hall.
- Tiwari, S., Kazemi, N., Modak, N. M., Cárdenas-Barrón, L. E., & Sarkar, S. (2020). The effect of human errors on an integrated stochastic supply chain model with setup cost reduction and backorder price discount. *International Journal of Production Economics*, 226(April 2019), 107643.
- Tiwari, S., Sana, S. S., & Sarkar, S. (2018). Joint economic lot sizing model with stochastic demand and controllable lead-time by reducing ordering cost and setup cost. *Revista de La Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales - Serie A: Matematicas*, 112(4), 1075–1099.
- Vijayashree, M., & Uthayakumar, R. (2015). Integrated inventory model with controllable lead time involving investment for quality improvement in supply chain system. *International Journal of Supply and Operations Management*, 2(1), 617–639.
- Wangsa, I. D., & Wee, H. M. (2017). Impact of lead time reduction and fuel consumption on a two-echelon supply chain inventory with a subsidised price and pick-up policy. *International Journal of Integrated Supply Management*, 11(2/3), 264.
- Wee, H. M., Yu, J., & Chen, M. C. (2007). Optimal inventory model for items with imperfect quality and shortage backordering. *Omega*, 35(1), 7–11.
- Yang, J. S., & Pan, J. C. H. (2004). Just-in-time purchasing: An integrated inventory model involving deterministic variable lead time and quality improvement investment. *International Journal of Production Research*, 42(5), 853–863.
- Yoo, S. H., Kim, D., & Park, M. S. (2012). Lot sizing and quality investment with quality cost analyses for imperfect production and inspection processes with commercial return. *International Journal of Production Economics*, 140(2), 922–933.

LAMPIRAN A: PERHITUNGAN KONDISI RIIL PERUSAHAAN

Titin Batik - Penbeli		Safety factor yg diketahui --> 0.25 0.25 0.25														
D/Qb	Qb Aktual	Wy	Qb1	Qb2	Qb3	SS1	SS2	SS3	ROP1	ROP2	ROP3	By Pesan	By Simpan	By Kekurangan	By Logistik	Total Biaya
12	1,301.83	650.92	137.00	586.25	578.58	2.05	8.26	7.84	192.75	824.32	813.22	4,200,000.00	38,271,127.98	37,506,036.90	340,587,123.91	420,564,288.79

El Rahma Batik - Pemasok					
D/Qv	Qv	By setup	By simpan	By rework	Total Biaya
750	20.83	1,616,875,000.00	158,964.63	2,677,422.09	1,619,711,386.73

Sistem
Total biaya sistem
2,040,275,675.52

L		27		R(L)		Q* Before		Check		Q*		Check		Buyer												Vendor												JTEC															
						Revisited		WY		Conclusion		Revisited		WY		Conclusion		Φ(k)		Pu(k)		k*		Φ(k)		ψ(k)		OC		HC		SC		CLS		LC		SfC		TECb(Q,K,L)		m		SC		HC		RC		TECv(Q,m)			
1	0	29	0.00	923.41	461.71	Satisfied	923.41	461.71	Satisfied	0.97789	0.02211	2.0119871	0.05271	0.00822	5.921.182.26	34.789.030.52	1.518.239.69	0.00	349.936.334.90	4.398.592.53	396.653.378.98	1	36.471.663.09	7.515.877.50	118.694.447.65	162.683.988.25	559.247.368.14																										
2	0	29	0.00	670.52	335.26	Satisfied	670.52	335.26	Satisfied	0.98387	0.01613	2.1412118	0.0403	0.00577	8.154.425.47	26.085.003.17	1.466.931.62	0.00	362.966.986.32	6.057.573.21	405.830.919.79	1	50.227.377.83	5.457.512.60	86.198.186.78	141.874.077.30	547.704.997.09																										
3	0	29	0.00	668.63	334.31	Satisfied	668.63	334.31	Satisfied	0.98392	0.01608	2.1423277	0.04021	0.00575	8.177.447.24	26.035.520.58	1.466.936.38	0.00	362.192.200.19	6.074.697.38	405.834.390.78	1	50.369.365.78	5.442.128.32	86.946.125.10	141.757.719.20	547.704.109.97																										
4	0	29	0.00	668.62	334.31	Satisfied	668.62	334.31	Satisfied	0.98392	0.01608	2.1423359	0.04021	0.00575	8.177.446.68	26.035.157.65	1.466.942.15	0.00	362.193.121.28	6.074.823.35	405.847.241.28	1	50.370.410.27	5.442.015.47	85.944.442.90	141.756.866.64	547.704.109.92																										
5	0	29	0.00	668.62	334.31	Satisfied	668.62	334.31	Satisfied	0.98392	0.01608	2.1423359	0.04021	0.00575	8.177.446.68	26.035.154.99	1.466.942.15	0.00	362.193.128.04	6.074.824.47	405.847.247.52	1	50.370.417.93	5.442.016.44	85.944.429.83	141.756.862.40	547.704.109.92																										
iterations	i	Li	R(L)	Q* Before	WY	Conclusion	Revisited	WY	Conclusion	Φ(k)	Pu(k)	k*	Φ(k)	ψ(k)	OC	HC	SC	CLS	LC	SfC	TECb(Q,K,L)	m	SC	HC	RC	TECv(Q,m)	JTEC																										
1	0	29	0.00	641.60	320.80	Satisfied	641.60	320.80	Satisfied	0.98456	0.01544	2.1599905	0.03982	0.00549	8.521.944.02	27.329.263.46	1.460.151.30	0.00	364.063.294.47	6.330.596.94	407.705.239.23	2	26.245.558.54	10.118.711.94	164.944.359.75	201.308.630.23	609.013.869.46																										
2	0	29	0.00	434.86	217.43	Satisfied	434.86	217.43	Satisfied	0.98956	0.0105	2.307819	0.02782	0.00358	12.573.536.45	10.292.862.92	1.403.241.97	0.00	386.070.952.66	9.340.341.36	431.417.935.37	2	38.723.498.57	6.858.146.96	111.794.052.14	157.375.693.37	588.793.628.74																										
3	0	29	0.00	433.61	216.81	Satisfied	433.61	216.81	Satisfied	0.98953	0.01047	2.308951	0.02775	0.00357	12.609.713.63	21.998.613.34	1.402.840.56	0.00	386.267.461.84	9.367.215.84	431.645.845.21	2	38.834.951.68	6.833.146.90	111.473.316.56	157.416.699.14	588.793.628.74																										
4	0	29	0.00	433.60	216.80	Satisfied	433.60	216.80	Satisfied	0.98953	0.01047	2.3089014	0.02775	0.00357	12.609.927.75	21.998.428.96	1.402.838.19	0.00	386.268.624.86	9.367.374.90	431.647.194.65	2	38.835.575.09	6.838.349.79	111.471.423.79	157.415.348.67	588.792.543.31																										
5	0	29	0.00	433.60	216.80	Satisfied	433.60	216.80	Satisfied	0.98953	0.01047	2.3089015	0.02775	0.00357	12.609.929.01	21.998.427.87	1.402.838.17	0.00	386.268.631.72	9.367.374.90	431.647.202.61	2	38.835.578.98	6.838.349.10	111.471.423.79	157.415.340.70	588.792.543.31																										
iterations	i	Li	R(L)	Q* Before	WY	Conclusion	Revisited	WY	Conclusion	Φ(k)	Pu(k)	k*	Φ(k)	ψ(k)	OC	HC	SC	CLS	LC	SfC	TECb(Q,K,L)	m	SC	HC	RC	TECv(Q,m)	JTEC																										
1	0	29	0.00	520.32	260.16	Satisfied	520.32	260.16	Satisfied	0.98745	0.01255	2.239869	0.03247	0.00436	10.508.272.69	24.194.541.51	1.428.854.54	0.00	374.852.741.71	7.806.145.43	418.790.555.88	3	31.575.318.61	12.177.007.27	200.648.571.08	224.400.895.95	653.191.452.83																										
2	0	29	0.00	342.04	171.02	Satisfied	342.04	171.02	Satisfied	0.99172	0.00828	2.3954932	0.02258	0.00275	15.865.509.20	17.874.631.57	1.370.618.68	0.00	404.804.295.30	11.874.948.87	453.576.198.96	3	32.621.042.00	8.004.706.60	131.898.824.32	173.472.573.82	626.300.72.68																										
3	0	29	0.00	341.12	170.56	Satisfied	341.12	170.56	Satisfied	0.99172	0.00828	2.3947475	0.02258	0.00275	15.865.509.20	17.874.631.57	1.370.618.68	0.00	404.804.295.30	11.874.948.87	453.576.198.96	3	32.621.042.00	8.004.706.60	131.898.824.32	173.472.573.82	626.300.72.68																										
4	0	29	0.00	341.12	170.56	Satisfied	341.12	170.56	Satisfied	0.99175	0.00825	2.3947475	0.02253	0.00274	16.028.777.65	19.718.485.79	1.370.259.75	0.00	404.839.318.89	11.907.091.79	453.863.934.05	3	32.909.871.43	7.983.098.09	131.542.775.50	172.435.753.32	626.299.687.37																										
5	0	29	0.00	341.12	170.56	Satisfied	341.12	170.56	Satisfied	0.99175	0.00825	2.3947475	0.02253	0.00274	16.028.778.74	19.718.485.79	1.370.259.75	0.00	404.839.318.89	11.907.092.78	453.863.941.32	3	32.909.881.43	7.983.098.09	131.542.775.50	172.435.746.05	626.299.687.37																										
iterations	i	Li	R(L)	Q* Before	WY	Conclusion	Revisited	WY	Conclusion	Φ(k)	Pu(k)	k*	Φ(k)	ψ(k)	OC	HC	SC	CLS	LC	SfC	TECb(Q,K,L)	m	SC	HC	RC	TECv(Q,m)	JTEC																										
1	0	29	0.00	448.99	224.50	Satisfied	448.99	224.50	Satisfied	0.98916	0.01084	2.2958132	0.0286	0.00371	12.177.696.37	22.384.690.20	1.407.729.50	0.00	383.920.807.06	9.046.288.73	428.937.21.86	4	18.752.202.68	13.934.288.39	230.855.911.85	263.542.402.59	692.479.614.46																										
2	0	29	0.00	290.07	145.04	Satisfied	290.07	145.04	Satisfied	0.99297	0.00708	2.4595941	0.01955	0.00231	18.489.381.34	14.499.980.42	1.349.264.59	0.00	420.160.426.98	10.02.397.57	472.861.451.10	4	19.025.803.29	9.002.286.39	430.445.117.73	287.173.207.41	600.034.658.51																										
3	0	29	0.00	289.35	144.67	Satisfied	289.35	144.67	Satisfied	0.99299	0.00701	2.4568511	0.01951	0.00228	18.896.749.01	14.482.889.08	1.348.946.15	0.00	420.161.721.05	10.037.584.98	473.183.890.61	4	19.098.743.86	9.979.720.75	448.771.262.08	287.173.207.41	600.034.658.51																										
4	0	29	0.00	289.35	144.67	Satisfied	289.35	144.67	Satisfied	0.99299	0.00701	2.4568512	0.01951	0.00228	18.896.749.01	14.482.889.08	1.348.946.15	0.00	420.161.726.13	10.037.585.67	473.183.896.97	4	19.098.745.30	9.979.720.75	448.771.254.72	287.173.207.41	600.034.658.51																										
iterations	i	Li	R(L)	Q* Before	WY	Conclusion	Revisited	WY	Conclusion	Φ(k)	Pu(k)	k*	Φ(k)	ψ(k)	OC	HC	SC	CLS	LC	SfC	TECb(Q,K,L)	m	SC	HC	RC	TECv(Q,m)	JTEC																										
1	0	29	0.00	400.70	200.35	Satisfied	400.70	200.35	Satisfied	0.99031	0.00969	2.3393817	0.02592	0.00327	13.645.520.74	21.178.470.47	1.391.916.42	0.00	391.893.814.74	13.136.672.52	438.246.401.77	5	16.809.981.93	15.493.417.22	257.528.941.34	289.832.340.48	728.078.742.25																										
2	0	29	0.00	255.98	127.99	Satisfied	255.98	127.99	Satisfied	0.99308	0.00692	2.5003382	0.01751	0.00021	21.359.604.70	17.170.350.35	1.333.608.33	0.00	433.795.590.97	10.367.134.43	490.064.287.53	5	16.232.997.93	9.897.924.37	164.521.612.51	260.732.534.81	696.796.622.83																										
3	0	29	0.00	255.39	127.69	Satisfied	255.39	127.69	Satisfied	0.99301	0.00692	2.5003382	0.01751	0.00021	21.359.604.70	17.170.350.35	1.333.608.33	0.00	433.795.590.97	10.367.134.43	490.064.287.53	5	16.232.997.93	9.897.924.37	164.521.612.51	260.732.534.81	696.796.622.83																										
4	0	29	0.00	255.38	127.69	Satisfied	255.38	127.69	Satisfied	0.99301	0.00692	2.5003382	0.01751	0.00021	21.359.604.70	17.170.350.35	1.333.608.33	0.00	433.795.590.97	10.367.134.43	490.064.287.53	5	16.232.997.93	9.897.924.37	164.521.612.51	260.732.534.81	696.796.622.83																										
5	0	29	0.00	255.38	127.69	Satisfied	255.38	127.69	Satisfied	0.99301	0.00692	2.5003382	0.01751	0.00021	21.359.604.70	17.170.350.35	1.333.608.33	0.00	433.795.590.97	10.367.134.43	490.064.287.53	5	16.232.997.93	9.897.924.37	164.521.612.51	260.732.534.81	696.796.622.83																										
iterations	i	Li	R(L)	Q* Before	WY	Conclusion	Revisited	WY	Conclusion	Φ(k)	Pu(k)	k*	Φ(k)	ψ(k)	OC	HC	SC	CLS	LC	SfC	TECb(Q,K,L)	m	SC	HC	RC	TECv(Q,m)	JTEC																										
1	0	29	0.00	365.23	182.61	Satisfied	365.23	182.61	Satisfied	0.99117	0.00883	2.3725145	0.02391	0.00295	14.970.660.96	20.305.066.39	1.379.347.53	0.00	399.091.783.38	11.211.062.43	446.867.920.69	6	15.368.690.44	16.909.337.48	160.933.268.49	233.958.296.61	760.826.217.30																										
2	0	29	0.00	231.50	115.75	Satisfied	231.50	115.75	Satisfied	0.99439	0.00561	2.5355939	0.01603	0.00179	23.618.771.38	17.153.789.04	1.321.344.93	0.00	446.067.057.89	11.545.373.03	505.706.326.26	6	14.246.730.78	17.717.914.04	178.541.878.02	213.506.526.74	712.121.859.11																										
3	0	29	0.00	230.99	115.50	Satisfied	230.99	115.50	Satisfied	0.99444	0.0056	2.5359392	0.01599	0.00179	23.618.771.38	17.153.789.04	1.321.344.93	0.00	446.067.057.89	11.545.373.03	505.706.326.26	6	14.246.730.78	17.717.914.04	178.541.878.02	213.506.526.74	712.121.859.11																										
4	0	29	0.00	230.99	115.50	Satisfied	230.99	115.50	Satisfied	0.99444	0.0056	2.5359392	0.01599	0.00179	23.618.771.38	17.153.789.04	1.321.344.93	0.00	446.067.057.89	11.545.373.03	505.706.326.26	6	14.246.730.78	17.717.914.04	178.541.878.02	213.506.526.74	712.121.859.11																										
5	0	29	0.00	230.99	115.50	Satisfied	230.99	115.50	Satisfied	0.99444	0.0056	2.5359393	0.01599	0.00179	23.618.771.38	17.153.789.04	1.321.344.93	0.00	446.067.057.89	11.545.373.03	505.706.326.26	6	14.246.730.78	17.717.914.04	178.541.878.02	213.506.526.74	712.121.859.11																										
iterations	i	Li	R(L)	Q* Before	WY	Conclusion	Revisited	WY	Conclusion	Φ(k)	Pu(k)	k*	Φ(k)	ψ(k)	OC	HC	SC	CLS	LC	SfC	TECb(Q,K,L)	m	SC	HC	RC	TECv(Q,m)	JTEC																										
1	0	29	0.00	337.76	168.88	Satisfied	337.76	168.88	Satisfied	0.99163	0.00817	2.401074	0.02234	0.00271	16.187.965.70	19.637.374.52	1.368.956.59	0.00	405.704.113.84	12.025.860.61	454.923.791.47	7	14.244.326.20	18.215.495.31																													

iterations	1	1	27	10000.00	444.64	222.32	Satisfied	444.64	222.32	Satisfied	0.98926	0.01074	2.2994735	0.02836	0.00367	12.296.879.42	21.939.817.52	1.356.998.20	351.339.41	384.568.192.02	9.134.824.71	429.648.01.28	4	18.935.730.39	13.799.235.02	228.618.424.48	261.353.989.79	691.001.441.17
	2	1	27	10000.00	290.46	145.23	Satisfied	290.46	145.23	Satisfied	0.99297	0.00703	2.4554825	0.01957	0.0023	18.824.534.67	18.150.913.28	3.202.069.27	537.843.85	420.026.463.27	13.983.940.04	472.824.764.38	4	28.987.542.37	9.014.168.59	149.341.975.74	187.343.686.70	660.168.451.07
	3	1	27	10000.00	289.78	144.89	Satisfied	289.78	144.89	Satisfied	0.99298	0.00702	2.4563159	0.01953	0.00229	18.868.471.50	18.134.890.33	1.301.783.41	539.099.19	420.264.121.73	14.016.578.83	473.124.944.98	4	29.055.199.86	8.993.778.34	148.942.598.52	167.042.598.42	660.167.543.50
	4	1	27	10000.00	289.78	144.89	Satisfied	289.78	144.89	Satisfied	0.99298	0.00702	2.4563195	0.01953	0.00229	18.868.660.15	18.134.821.71	1.301.782.19	539.104.58	420.265.146.47	14.016.718.97	473.126.234.06	4	29.055.490.36	8.993.088.42	148.992.730.64	187.041.309.42	660.167.543.48
	5	1	27	10000.00	289.78	144.89	Satisfied	289.78	144.89	Satisfied	0.99298	0.00702	2.4563195	0.01953	0.00229	18.868.660.96	18.134.821.41	1.301.782.18	539.104.60	420.265.150.86	14.016.719.57	473.126.239.58	4	29.055.491.61	8.993.088.04	148.992.724.26	187.041.303.90	660.167.543.48
iterations	1	i	Li	R(L)	Q' Before Revised		Check	Q'	Q' Before Revised		Check	Buyer		Seller		Buyer		Seller		Buyer		Seller		Buyer		Seller		JTEC
	1	1	27	10000.00	396.75	198.38	Satisfied	396.75	198.38	Satisfied	0.99041	0.00599	2.3419835	0.02574	0.00324	13.781.071.67	20.739.228.25	1.341.755.84	393.744.90	392.630.107.85	10.537.367.53	439.123.276.05	m	16.976.967.81	15.341.023.57	254.995.880.09	287.313.871.48	726.437.147.53
	2	1	27	10000.00	256.34	128.17	Satisfied	256.34	128.17	Satisfied	0.99379	0.00621	2.4998431	0.01754	0.00201	21.329.633.07	17.352.089.48	1.286.967.62	609.418.09	433.632.792.46	15.844.870.28	490.055.771.01	5	26.276.076.55	9.911.832.27	164.752.787.21	200.840.696.03	690.996.467.13
	3	1	27	10000.00	255.79	127.89	Satisfied	255.79	127.89	Satisfied	0.9938	0.0062	2.5006097	0.0175	0.002	21.376.061.90	17.339.222.38	1.286.708.68	610.744.63	433.884.987.05	15.879.367.60	490.377.084.89	5	26.333.272.44	8.990.303.76	164.934.944.04	200.840.696.03	690.995.605.12
	4	1	27	10000.00	255.78	127.89	Satisfied	255.78	127.89	Satisfied	0.9938	0.0062	2.5006127	0.0175	0.002	21.376.242.01	17.339.172.58	1.286.707.67	610.749.77	433.885.965.42	15.879.494.07	490.378.331.52	5	26.333.494.33	8.990.220.42	164.933.558.85	200.841.273.60	690.995.605.12
5	1	27	10000.00	255.78	127.89	Satisfied	255.78	127.89	Satisfied	0.9938	0.0062	2.5006127	0.0175	0.002	21.376.242.71	17.339.172.58	1.286.707.67	610.749.79	433.885.969.20	15.879.494.58	490.378.336.35	5	26.333.495.18	8.990.220.10	164.933.553.49	200.841.273.60	690.995.605.12	
iterations	1	i	Li	R(L)	Q' Before Revised		Check	Q'	Q' Before Revised		Check	Buyer		Seller		Buyer		Seller		Buyer		Seller		Buyer		Seller		JTEC
	1	1	27	10000.00	361.60	180.80	Satisfied	361.60	180.80	Satisfied	0.99125	0.00875	2.3761763	0.02371	0.00292	15.120.877.01	19.869.812.97	1.329.643.45	432.025.06	399.907.735.06	11.232.651.49	447.892.748.37	m	15.522.900.33	16.741.354.44	278.881.958.74	311.146.213.51	759.038.961.88
	2	1	27	10000.00	231.84	115.92	Satisfied	231.84	115.92	Satisfied	0.99438	0.00562	2.5350822	0.01605	0.0018	23.584.147.59	16.791.779.27	1.275.138.09	673.832.79	454.878.986.49	17.559.652.49	505.723.536.71	6	24.211.186.43	10.733.648.97	178.803.994.65	218.748.830.05	719.472.366.76
	3	1	27	10000.00	231.37	115.68	Satisfied	231.37	115.68	Satisfied	0.99439	0.00561	2.5357937	0.01602	0.00179	23.632.307.19	16.781.105.08	1.274.900.77	675.208.68	446.140.582.43	17.555.422.90	506.059.532.45	6	24.260.626.47	10.711.775.18	178.439.615.09	213.412.016.74	719.471.549.19
	4	1	27	10000.00	231.36	115.68	Satisfied	231.36	115.68	Satisfied	0.99439	0.00561	2.5357962	0.01602	0.00179	23.632.478.68	16.781.067.16	1.274.899.93	675.213.68	446.141.513.94	17.555.555.59	506.060.728.97	6	24.260.802.52	10.711.697.45	178.438.320.24	213.410.820.20	719.471.549.18
5	1	27	10000.00	231.36	115.68	Satisfied	231.36	115.68	Satisfied	0.99439	0.00561	2.5357982	0.01602	0.00179	23.632.479.29	16.781.067.02	1.274.899.92	675.213.68	446.141.517.25	17.555.555.59	506.060.733.23	6	24.260.803.14	10.711.697.17	178.438.315.64	213.410.815.95	719.471.549.18	
iterations	1	i	Li	R(L)	Q' Before Revised		Check	Q'	Q' Before Revised		Check	Buyer		Seller		Buyer		Seller		Buyer		Seller		Buyer		Seller		JTEC
	1	1	27	10000.00	334.38	167.19	Satisfied	334.38	167.19	Satisfied	0.99191	0.00809	2.4047291	0.02214	0.00288	16.351.596.34	19.205.083.45	1.319.631.59	467.188.47	406.592.822.98	12.146.900.14	456.083.222.98	m	14.388.292.43	18.033.234.89	300.873.565.81	333.295.093.13	789.378.316.10
	2	1	27	10000.00	213.17	106.58	Satisfied	213.17	106.58	Satisfied	0.99483	0.00517	2.5642344	0.0149	0.00164	25.649.495.56	16.374.176.95	1.265.464.78	732.842.73	457.097.655.46	19.053.910.99	520.713.545.96	7	22.569.811.23	11.496.217.31	191.807.401.71	225.873.961.36	746.046.976.32
	3	1	27	10000.00	212.76	106.38	Satisfied	212.76	106.38	Satisfied	0.99484	0.00516	2.5644899	0.01487	0.00164	25.698.912.18	16.365.108.53	1.265.464.67	734.254.63	457.096.620.48	19.050.620.48	520.520.219.81	7	22.613.294.49	11.474.111.26	191.438.573.92	225.875.979.66	746.046.994.49
	4	1	27	10000.00	212.76	106.38	Satisfied	212.76	106.38	Satisfied	0.99484	0.00516	2.5649031	0.01487	0.00164	25.699.075.58	16.365.078.61	1.265.243.95	734.259.30	457.366.966.79	19.090.741.26	520.521.366.16	7	22.613.438.27	11.474.038.31	191.437.356.74	225.874.833.32	746.046.199.48
5	1	27	10000.00	212.76	106.38	Satisfied	212.76	106.38	Satisfied	0.99484	0.00516	2.5649031	0.01487	0.00164	25.699.076.11	16.365.078.52	1.265.243.95	734.259.32	457.366.969.79	19.090.742.26	520.521.369.94	7	22.613.438.74	11.474.038.07	191.437.352.72	225.874.825.53	746.046.199.48	
iterations	1	i	Li	R(L)	Q' Before Revised		Check	Q'	Q' Before Revised		Check	Buyer		Seller		Buyer		Seller		Buyer		Seller		Buyer		Seller		JTEC
	1	1	27	10000.00	312.51	156.25	Satisfied	312.51	156.25	Satisfied	0.99243	0.00757	2.4292111	0.02087	0.00249	17.486.153.52	18.676.960.91	1.311.122.38	499.890.10	412.809.890.64	12.997.142.62	463.791.160.18	m	13.470.996.77	19.238.536.83	321.361.296.16	354.070.819.76	817.861.979.94
	2	1	27	10000.00	198.35	99.18	Satisfied	198.35	99.18	Satisfied	0.99519	0.00481	2.589049	0.01397	0.00152	27.565.761.43	16.049.390.08	1.257.310.29	787.593.18	467.506.532.18	20.477.422.78	533.644.009.96	8	21.223.995.48	12.210.814.30	203.969.928.87	237.404.738.66	771.048.008.54
	3	1	27	10000.00	197.99	98.99	Satisfied	197.99	98.99	Satisfied	0.9952	0.0048	2.5896752	0.01395	0.00151	27.616.122.12	16.041.544.46	1.257.105.48	789.032.06	467.780.084.11	20.514.833.58	533.998.721.81	8	21.262.770.22	12.188.546.69	203.969.969.83	237.409.286.73	771.048.008.54
	4	1	27	10000.00	197.99	98.99	Satisfied	197.99	98.99	Satisfied	0.9952	0.0048	2.5896771	0.01395	0.00151	27.616.278.12	16.041.520.21	1.257.104.84	789.036.52	467.780.931.47	20.514.949.46	533.999.820.62	8	21.262.890.33	12.188.477.63	203.996.816.19	237.408.187.91	771.048.008.54
5	1	27	10000.00	197.99	98.99	Satisfied	197.99	98.99	Satisfied	0.9952	0.0048	2.5896771	0.01395	0.00151	27.616.278.60	16.041.520.14	1.257.104.84	789.036.53	467.780.934.09	20.514.949.46	533.999.824.02	8	21.262.890.70	12.188.477.63	203.996.816.19	237.408.187.91	771.048.008.54	
iterations	1	i	Li	R(L)	Q' Before Revised		Check	Q'	Q' Before Revised		Check	Buyer		Seller		Buyer		Seller		Buyer		Seller		Buyer		Seller		JTEC
	1	1	27	10000.00	294.43	147.22	Satisfied	294.43	147.22	Satisfied	0.99287	0.00713	2.4580198	0.01981	0.00233	18.570.426.89	18.245.207.46	1.303.738.85	530.583.63	418.645.186.87	13.795.174.26	471.090.317.95	m	12.709.442.95	20.372.639.38	340.617.355.61	373.699.437.95	844.789.755.90
	2	1	27</																									

iterations	1	2	16	120000.0	292.73	146.36	Satisfied	292.73	146.36	Satisfied	0.99291	0.00709	2.4526974	0.01971	0.00232	18,678,525.03	15,941,284.96	1,003,069.25	6,404,065.72	419,232,360.20	13,875,475.73	475,134,780.89	8	14,381,352.45	18,020,715.95	301,018,757.69	333,420,826.09	808,555,606.99	JTEC
	2	2	16	120000.0	201.93	100.97	Satisfied	201.93	100.97	Satisfied	0.9951	0.0049	2.5829077	0.0142	0.00155	27,077,201.39	13,744,223.58	969,426.06	9,283,611.91	464,052,745.31	20,114,492.46	536,041,700.71	8	20,847,833.33	12,431,136.77	207,650,204.20	240,929,174.31	776,970,875.02	
	3	2	16	120000.0	201.71	100.86	Satisfied	201.71	100.86	Satisfied	0.99511	0.00489	2.5832769	0.01418	0.00154	27,106,307.77	13,739,158.02	969,332.89	9,293,588.84	465,010,808.90	20,136,109.19	536,255,298.57	8	20,870,238.13	12,417,791.59	207,627,285.83	240,715,315.55	776,970,614.12	
	4	2	16	120000.0	201.71	100.86	Satisfied	201.71	100.86	Satisfied	0.99511	0.00489	2.5832777	0.01418	0.00154	27,106,368.96	13,739,146.16	969,332.67	9,293,612.21	465,011,179.26	20,136,159.80	536,255,799.06	8	20,870,290.62	12,417,760.36	207,426,764.08	240,714,815.06	776,970,614.12	
	5	2	16	120000.0	201.71	100.86	Satisfied	201.71	100.86	Satisfied	0.99511	0.00489	2.5832777	0.01418	0.00154	27,106,369.12	13,739,146.13	969,332.67	9,293,612.27	465,011,180.13	20,136,159.91	536,255,800.23	8	20,870,290.75	12,417,760.29	207,426,762.86	240,714,813.89	776,970,614.12	
iterations	1	i	Li	R(L)	Q' Before Revised	Check	Q'	Check	Q'	Check	Phi(k)	Pu(k)	k'	q'(k)	q(k)	OC	HC	SC	CLS	LC	SrC	TECb(Q,K,L)	m	SC	HC	RC	TECb(Q,m)	JTEC	
	2	2	16	120000.0	275.71	137.85	Satisfied	275.71	137.85	Satisfied	0.99332	0.00668	2.474057	0.0187	0.00217	19,831,355.84	15,520,129.12	997,443.86	6,799,322.00	425,944,369.07	14,731,864.34	483,374,484.24	9	13,572,412.06	19,077,294.21	318,960,022.10	351,609,728.37	834,984,212.61	
	2	2	16	120000.0	189.64	94.82	Satisfied	189.64	94.82	Satisfied	0.9954	0.0046	2.604426	0.01343	0.00144	28,832,308.51	13,458,787.38	964,016.87	9,885,362.92	474,386,231.23	21,418,286.32	548,944,993.20	9	19,732,587.86	13,121,689.86	219,386,168.68	252,240,446.39	801,185,439.60	
	3	2	16	120000.0	189.44	94.72	Satisfied	189.44	94.72	Satisfied	0.9954	0.0046	2.6047752	0.01342	0.00144	28,861,808.80	13,454,316.89	963,929.44	9,895,477.30	474,546,472.45	21,440,200.82	549,162,205.71	9	19,752,777.61	13,108,277.69	219,381,929.27	252,022,984.76	801,185,439.60	
	4	2	16	120000.0	189.44	94.72	Satisfied	189.44	94.72	Satisfied	0.9954	0.0046	2.604776	0.01342	0.00144	28,861,873.99	13,454,307.92	963,929.25	9,895,499.65	474,546,826.58	21,440,249.25	549,162,685.74	9	19,752,822.23	13,108,248.28	219,161,434.22	252,022,503.67	801,185,439.60	
iterations	1	i	Li	R(L)	Q' Before Revised	Check	Q'	Check	Q'	Check	Phi(k)	Pu(k)	k'	q'(k)	q(k)	OC	HC	SC	CLS	LC	SrC	TECb(Q,K,L)	m	SC	HC	RC	TECb(Q,m)	JTEC	
	2	2	16	120000.0	261.35	130.68	Satisfied	261.35	130.68	Satisfied	0.99367	0.00633	2.493013	0.01784	0.00205	20,920,904.19	15,167,632.59	992,498.34	7,172,881.44	431,412,636.78	15,541,243.11	491,207,784.46	10	12,886,280.75	20,078,330.39	335,943,080.38	368,907,691.52	860,115,475.97	
	2	2	16	120000.0	179.34	89.67	Satisfied	179.34	89.67	Satisfied	0.99565	0.00435	2.6234466	0.01278	0.00136	30,488,636.11	13,222,597.21	959,271.28	9,999,271.28	483,383,161.13	22,648,701.11	561,155,613.50	10	18,779,548.00	13,777,498.27	230,519,757.37	263,076,793.64	824,232,407.14	
	3	2	16	120000.0	179.16	89.58	Satisfied	179.16	89.58	Satisfied	0.99565	0.00435	2.6237785	0.01277	0.00136	30,518,450.59	13,218,606.49	959,188.78	9,999,188.78	483,545,109.07	22,670,849.01	561,375,672.72	10	18,797,912.31	13,764,028.58	230,294,554.98	262,856,495.87	824,232,168.59	
	4	2	16	120000.0	179.16	89.58	Satisfied	179.16	89.58	Satisfied	0.99565	0.00435	2.6237792	0.01277	0.00136	30,518,513.09	13,218,598.14	959,188.60	9,999,188.60	483,545,448.54	22,670,895.44	561,376,134.02	10	18,797,950.80	13,764,000.44	230,294,083.38	262,856,034.58	824,232,168.59	
iterations	1	2	16	120000.0	179.16	89.58	Satisfied	179.16	89.58	Satisfied	0.99565	0.00435	2.6237792	0.01277	0.00136	30,518,513.22	13,218,598.12	959,188.60	9,999,188.60	483,545,449.25	22,670,895.54	561,376,134.98	10	18,797,950.88	13,764,000.34	230,294,082.39	262,856,033.61	824,232,168.59	
iterations	1	i	Li	R(L)	Q' Before Revised	Check	Q'	Check	Q'	Check	Phi(k)	Pu(k)	k'	q'(k)	q(k)	OC	HC	SC	CLS	LC	SrC	TECb(Q,K,L)	m	SC	HC	RC	TECb(Q,m)	JTEC	
	2	3	14	136000.0	860.20	430.10	Satisfied	860.20	430.10	Satisfied	0.97938	0.2062	2.0411021	0.04969	0.0076	6,356,344.20	30,506,427.83	1,046,763.95	2,469,893.75	352,300,071.12	4,721,855.69	397,401,356.55	1	39,152,053.46	110,570,365.20	156,723,751.35	554,125,107.90		
	2	3	14	136000.0	677.80	338.90	Satisfied	677.80	338.90	Satisfied	0.9837	0.0163	2.1369379	0.04067	0.00584	8,066,804.77	25,562,533.55	1,020,398.11	3,134,529.85	361,691,043.46	5,992,483.54	405,367,793.29	1	49,687,676.05	5,516,791.56	87,125,363.73	142,329,831.35	547,697,624.64	
	3	3	14	136000.0	676.87	338.43	Satisfied	676.87	338.43	Satisfied	0.98372	0.01628	2.1374829	0.04063	0.00583	8,077,918.43	25,537,415.81	1,020,249.39	3,138,848.30	361,651,411.23	6,000,739.40	405,426,583.07	1	49,756,130.89	5,509,201.52	87,005,496.04	142,270,828.45	547,697,411.52	
	4	3	14	136000.0	676.87	338.43	Satisfied	676.87	338.43	Satisfied	0.98372	0.01628	2.1374856	0.04063	0.00583	8,077,974.53	25,537,289.19	1,020,249.14	3,138,870.10	361,651,715.99	6,000,781.08	405,426,880.04	1	49,756,476.47	5,509,163.06	87,004,891.75	142,270,531.48	547,697,411.52	
iterations	1	i	Li	R(L)	Q' Before Revised	Check	Q'	Check	Q'	Check	Phi(k)	Pu(k)	k'	q'(k)	q(k)	OC	HC	SC	CLS	LC	SrC	TECb(Q,K,L)	m	SC	HC	RC	TECb(Q,m)	JTEC	
	2	3	14	136000.0	591.47	295.73	Satisfied	591.47	295.73	Satisfied	0.98575	0.01425	2.1904097	0.03623	0.00502	9,244,319.84	23,245,750.47	1,005,954.97	3,592,078.57	367,987,133.58	6,867,709.02	411,942,446.45	2	28,470,304.08	9,328,008.79	152,055,167.29	189,853,480.16	601,795,926.60	
	2	3	14	136000.0	441.61	220.80	Satisfied	441.61	220.80	Satisfied	0.98933	0.01067	2.3020459	0.02819	0.00364	12,381,422.70	19,278,703.82	976,482.09	4,811,067.10	385,027,418.76	9,917,628.29	431,672,722.76	2	38,131,833.95	6,964,554.79	113,528,681.97	158,625,070.70	590,297,793.46	
	3	3	14	136000.0	440.99	220.49	Satisfied	440.99	220.49	Satisfied	0.98935	0.01065	2.3025693	0.02816	0.00363	12,398,704.58	19,262,597.20	976,346.63	4,817,809.51	385,121,291.45	9,910,266.26	431,787,188.03	2	38,185,058.05	6,954,847.27	113,370,440.45	158,510,345.76	590,297,533.78	
	4	3	14	136000.0	440.99	220.49	Satisfied	440.99	220.49	Satisfied	0.98935	0.01065	2.3025715	0.02816	0.00363	12,398,774.76	19,262,531.58	976,345.63	4,817,809.62	385,121,672.67	9,910,218.40	431,787,651.09	2	38,185,274.19	6,954,807.90	113,369,798.74	158,509,880.82	590,297,533.78	
iterations	1	i	Li	R(L)	Q' Before Revised	Check	Q'	Check	Q'	Check	Phi(k)	Pu(k)	k'	q'(k)	q(k)	OC	HC	SC	CLS	LC	SrC	TECb(Q,K,L)	m	SC	HC	RC	TECb(Q,m)	JTEC	
	2	3	14	136000.0	477.65	238.83	Satisfied	477.65	238.83	Satisfied	0.98847	0.01153	2.2724585	0.03017	0.00397	11,447,041.15	20,225,016.10	984,200.14	4,447,993.13	379,951,994.49	8,503,516.28	425,559,761.30	3	23,502,774.17	11,178,374.50	184,193,441.04	218,874,589.72	644,434,351.01	
	2	3	14	136000.0	348.17	174.08	Satisfied	348.17	174.08	Satisfied	0.99158	0.00842	2.3900185	0.02294	0.0028	15,704,118.01	16,858,371.41	953,949.21	6,102,127.57	403,075,811.11	11,665,916.24	454,360,341.56	3	32,243,296.27	8,148,137.50	134,262,229.67	174,513,663.45	629,014,005.00	
	3																												

	i	Li	R(l-)	Q* Before	Check	Q*	Check	
--	---	----	-------	-----------	-------	----	-------	--

[illegible]

iterations	1	2	16	120000.00	655.48	327.74	Satisfied	655.48	327.74	Satisfied	0.000002849	0.98423	0.01577	2.1501682	0.03954	0.00563	8.341,546.94	25,390,845.27	1,087,011.13	2,859,958.95	363,083,402.84	6,196,577.73	406,959,342.85	5	5,708,884.11	45,354,730.12	5,401,515.15	26,707,261.80	83,172,391.18	490,131,734.03	
	i	Li	R(L)	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check
	1	2	16	120000.00	261.35	130.68	Satisfied	261.35	130.68	Satisfied	0.000006431	0.99367	0.00633	2.493013	0.01784	0.00205	20,920,904.19	15,167,632.59	992,486.34	7,172,881.44	431,412,636.78	15,541,243.11	491,207,784.46	10	12,886,280.75	20,078,330.39	5,401,515.15	22,309,674.09	60,870,800.38	551,883,584.83	JTEC
	2	2	16	120000.00	595.61	297.80	Satisfied	595.61	297.80	Satisfied	0.000002822	0.98565	0.01435	2.1876953	0.03645	0.00506	9,180,074.33	27,792,877.33	367,638,161.32	4,076,189.66	361,638,161.32	41,654,240.51	361,638,161.32	10	5,654,488.64	45,757,453.74	5,401,515.15	26,758,975.36	83,572,432.89	495,226,673.40	JTEC
	3	2	16	120000.00	627.71	313.85	Satisfied	627.71	313.85	Satisfied	0.000002678	0.98489	0.01511	2.1571859	0.03811	0.00536	8,710,599.91	24,648,440.33	1,082,090.50	2,986,491.40	365,088,044.75	6,470,731.36	408,986,398.34	10	5,365,314.75	48,223,639.10	5,401,515.15	27,042,525.93	86,032,994.94	495,019,393.28	JTEC
5	2	16	120000.00	629.25	314.62	Satisfied	629.25	314.62	Satisfied	0.000002671	0.98485	0.01515	2.1661798	0.03810	0.00538	8,689,256.63	24,689,604.76	1,082,368.11	2,979,173.70	364,987,112.21	6,454,876.36	408,861,927.51	10	5,352,168.31	48,342,090.01	5,401,515.15	27,065,777.32	86,151,550.79	495,018,941.56	JTEC	
5	2	16	120000.00	629.32	314.66	Satisfied	629.32	314.66	Satisfied	0.000002671	0.98485	0.01515	2.1661798	0.03810	0.00538	8,688,275.93	24,691,501.24	1,082,368.89	2,978,837.45	364,966,784.16	6,454,147.83	408,861,927.51	10	5,351,564.24	48,347,546.71	5,401,515.15	27,066,386.99	86,157,013.10	495,018,940.61	JTEC	
iterations	1	3	14	136000.00	430.10	430.10	Satisfied	430.10	430.10	Satisfied	0.000019641	0.97933	0.02062	2.0710027	0.04869	0.0076	6,356,344.20	30,506,497.83	1,048,763.93	2,468,893.75	352,300,071.12	4,721,955.98	397,401,856.55	10	39,152,953.46	7,001,432.70	5,401,515.15	46,030,026.29	67,961,827.80	465,363,284.15	JTEC
	i	Li	R(L)	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check
	1	3	14	136000.00	1328.57	664.28	Satisfied	1328.57	664.28	Satisfied	0.000012852	0.96842	0.03158	1.8580348	0.071	0.01232	4,115,488.07	43,384,185.44	1,028,542.56	1,599,181.08	340,128,067.42	3,057,191.71	393,382,664.30	10	25,349,446.74	10,813,512.22	5,401,515.15	18,655,043.15	60,219,517.25	453,602,181.59	JTEC
	2	3	14	136000.00	1369.14	684.57	Satisfied	1369.14	684.57	Satisfied	0.000012777	0.96748	0.03252	1.8440414	0.07274	0.01274	3,993,525.63	44,507,777.71	1,102,301.02	1,551,769.79	349,465,582.83	2,966,618.71	393,587,575.25	10	24,598,213.47	11,143,758.57	5,401,515.15	18,817,537.40	59,961,024.58	453,548,599.83	JTEC
	3	3	14	136000.00	1371.61	685.81	Satisfied	1371.61	685.81	Satisfied	0.000012255	0.96742	0.03258	1.8441547	0.07285	0.01276	3,986,329.64	44,576,246.16	1,102,527.04	1,548,973.80	339,426,497.87	2,961,273.45	393,601,847.76	10	24,553,892.32	11,163,873.67	5,401,515.15	18,827,278.65	59,946,556.79	453,548,407.55	JTEC
5	3	14	136000.00	1371.76	685.88	Satisfied	1371.76	685.88	Satisfied	0.000012253	0.96742	0.03258	1.8441070	0.07285	0.01277	3,985,302.38	44,580,319.23	1,102,540.48	1,548,807.78	339,424,176.84	2,960,956.05	393,602,703.15	10	24,551,260.59	11,165,070.36	5,401,515.15	18,827,857.62	59,945,703.73	453,548,406.88	JTEC	
iterations	1	3	14	136000.00	591.47	295.73	Satisfied	591.47	295.73	Satisfied	0.000014209	0.98575	0.01425	2.1304097	0.03623	0.00502	9,244,319.84	23,245,750.47	1,005,954.97	3,592,078.57	367,987,133.58	6,867,209.02	411,942,446.45	10	28,470,304.08	9,328,008.79	5,401,515.15	18,027,901.97	61,227,729.99	473,170,176.44	JTEC
	i	Li	R(L)	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check
	1	3	14	136000.00	1048.22	524.11	Satisfied	1048.22	524.11	Satisfied	0.000008018	0.97496	0.02504	1.9529307	0.05853	0.00946	5,216,188.44	36,651,804.67	1,069,720.47	2,028,861.80	346,106,911.33	3,874,882.64	393,946,369.55	10	16,064,618.46	16,531,438.16	5,401,515.15	21,148,877.64	59,116,449.41	453,562,819.96	JTEC
	2	3	14	136000.00	1094.38	547.19	Satisfied	1094.38	547.19	Satisfied	0.000007690	0.97389	0.02612	1.9410812	0.06064	0.00965	4,996,148.36	36,920,810.76	1,074,856.70	1,741,424.49	349,951,685.66	3,711,424.49	393,556,286.48	10	15,386,947.37	17,259,614.84	5,401,515.15	21,351,681.14	59,999,658.51	452,555,944.98	JTEC
	3	3	14	136000.00	1097.30	548.65	Satisfied	1097.30	548.65	Satisfied	0.000007659	0.97381	0.02619	1.9395962	0.06077	0.00966	4,982,861.63	37,001,089.50	1,075,175.59	1,936,197.68	344,839,614.37	3,701,554.39	393,536,393.32	10	15,346,027.57	17,305,536.91	5,401,515.15	21,366,064.97	59,949,144.61	452,555,532.92	JTEC
5	3	14	136000.00	1097.49	548.74	Satisfied	1097.49	548.74	Satisfied	0.000007659	0.97381	0.02622	1.9398876	0.06078	0.00996	4,982,052.12	37,005,995.11	1,075,195.05	1,935,983.11	344,835,116.95	3,701,554.39	393,535,195.32	10	15,343,534.92	17,308,348.99	5,401,515.15	21,366,942.63	59,940,341.08	452,555,536.40	JTEC	
iterations	1	3	14	136000.00	477.65	238.83	Satisfied	477.65	238.83	Satisfied	0.000011730	0.98847	0.01153	2.2724485	0.03017	0.00397	11,447,041.15	20,225,016.10	984,200.14	4,447,993.13	379,951,994.49	8,503,516.28	425,559,761.30	10	23,502,774.17	11,178,374.50	5,401,515.15	19,063,605.33	59,146,269.15	484,706,030.45	JTEC
	i	Li	R(L)	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check
	1	3	14	136000.00	915.38	457.69	Satisfied	915.38	457.69	Satisfied	0.000006121	0.97808	0.02192	2.0155904	0.05233	0.00814	5,973,159.24	37,012,256.27	1,053,877.81	2,320,999.02	350,218,666.30	4,427,204.01	396,016,162.65	10	12,263,938.85	21,422,384.33	5,401,515.15	22,577,049.53	61,664,887.87	457,681,050.52	JTEC
	2	3	14	136000.00	961.62	480.81	Satisfied	961.62	480.81	Satisfied	0.000005927	0.97893	0.02301	1.9994139	0.05451	0.00958	5,685,930.97	33,276,984.41	1,059,585.60	2,320,999.02	348,658,442.34	4,237,204.01	395,114,209.96	10	11,674,209.07	22,594,549.13	5,401,515.15	22,573,515.49	62,423,515.49	457,537,725.46	JTEC
	3	3	14	136000.00	964.47	482.24	Satisfied	964.47	482.24	Satisfied	0.000005800	0.97692	0.02308	1.9939898	0.05464	0.00963	5,669,112.05	33,335,091.44	1,059,330.65	2,320,999.02	348,567,129.57	4,211,340.93	395,065,460.34	10	11,639,678.12	22,571,312.44	5,401,515.15	22,569,242.87	62,474,748.58	457,537,208.92	JTEC
5	3	14	136000.00	964.64	482.32	Satisfied	964.64	482.32	Satisfied	0.000005808	0.97692	0.02308	1.9939130	0.05465	0.00963	5,668,117.83	33,359,726.37	1,059,951.10	2,320,999.02	348,561,725.83	4,210,601.82	395,062,591.59	10	11,637,635.57	22,575,273.98	5,401,515.15	22,569,190.82	62,474,615.52	457,537,207.11	JTEC	
iterations	1	3	14	136000.00	411.24	205.62	Satisfied	411.24	205.62	Satisfied	0.000010218	0.99006	0.00994	2.3286707	0.02651	0.00337	13,095,744.64	18,486,366.13	969,596.26	5,166,346.49	389,993,882.21	8,876,838.88	437,788,774.60	10	20,473,863.92	12,762,544.24	5,401,515.15	19,088,848.71	58,446,772.02	496,235,546.62	JTEC
	i	Li	R(L)	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check	Q* Before	Check	Q* After	Check
	1	3	14	136000.00	830.34	415.17	Satisfied	830.34	415.17	Satisfied	0.000005047	0.98303	0.01982	2.0550101	0.04824	0.00762	6,584,942.82	29,633,416.63	1,058,704.70	2,558,754.02	352,541,557.32	4,899,440.61	398,312,985.39	10	10,139,863.24	25,769,185.26	5,401,515.15	20,430,303.06	61,454,966.81	463,227,952.20	JTEC
	2	3	14	136000.00	875.01	437.50	Satisfied	875.01	437.50	Satisfied	0.000004802	0.98003	0.02097	2.0341196	0.0504	0.00775	6,248,762.67	30,190,159.44	1,048,707.24	2,528,090.64	348,658,442.34	4,237,204.01	395,114,209.96	10	9,622,350.61	27,559,185.26	5,401,515.15	23,887,331.07	60,066,566.62	457,595,928.12	JTEC
	3	3	14	136000.00	877.66	438.83	Satisfied	877.66	438.83	Satisfied	0.000004788	0.97897	0.02103	2.0328795	0.05053	0.00777	6,229,792.39	30,982,521.22	1,049,025.22	2,524,750.41	351,613,094.68	4,627,905.45	396,923,196.59	10	9,593,661.83	27,237,721.49	5,401,515.15	23,903,673.52	60,136,171.99	459,035,968.59	JTEC
5	3																														

LAMPIRAN D: PERHITUNGAN MODEL II

[illegible]

iterations	1	27	10000.0	798.25	399.13	Satisfied	798.25	399.13	Satisfied	0.00000441	471.013	0.96656	0.03344	1832477	0.07433	0.01315	6.849	576.38	30	17	352	746	1.629	402	38	195	72	108	26	508	265	77	398	591	53	8	4328	1125	30	865	521	1	5401	515	15	24	696	307	69	301	818	21	468	161	349	51
	1	27	10000.0	799.67	399.83	Satisfied	799.67	399.83	Satisfied	0.00000404	471.052	0.9665	0.0331	1831706	0.07453	0.01318	6.847	575.18	30	17	354	746	1.629	401	38	195	72	108	26	508	265	77	398	591	53	8	4328	1128	30	865	521	1	5401	515	15	24	696	307	69	301	818	21	468	161	349	51
	1	27	10000.0	799.75	399.88	Satisfied	799.75	399.88	Satisfied	0.00000403	471.053	0.9665	0.0335	1831616	0.07454	0.01318	6.836	576.50	30	17	357	746	1.629	402	38	195	72	108	26	508	265	77	398	591	53	8	4328	1128	30	865	521	1	5401	515	15	24	696	307	69	301	818	21	468	161	349	51
	1	27	10000.0	799.75	399.88	Satisfied	799.75	399.88	Satisfied	0.00000403	471.053	0.9665	0.0335	1831616	0.07454	0.01318	6.836	576.50	30	17	357	746	1.629	402	38	195	72	108	26	508	265	77	398	591	53	8	4328	1128	30	865	521	1	5401	515	15	24	696	307	69	301	818	21	468	161	349	51
	1	27	10000.0	799.75	399.88	Satisfied	799.75	399.88	Satisfied	0.00000403	471.053	0.9665	0.0335	1831616	0.07454	0.01318	6.836	576.50	30	17	357	746	1.629	402	38	195	72	108	26	508	265	77	398	591	53	8	4328	1128	30	865	521	1	5401	515	15	24	696	307	69	301	818	21	468	161	349	51
	1	27	10000.0	799.75	399.88	Satisfied	799.75	399.88	Satisfied	0.00000403	471.053	0.9665	0.0335	1831616	0.07454	0.01318	6.836	576.50	30	17	357	746	1.629	402	38	195	72	108	26	508	265	77	398	591	53	8	4328	1128	30	865	521	1	5401	515	15	24	696	307	69	301	818	21	468	161	349	51
	1	27	10000.0	799.75	399.88	Satisfied	799.75	399.88	Satisfied	0.00000403	471.053	0.9665	0.0335	1831616	0.07454	0.01318	6.836	576.50	30	17	357	746	1.629	402	38	195	72	108	26	508	265	77	398	591	53	8	4328	1128	30	865	521	1	5401	515	15	24	696	307	69	301	818	21	468	161	349	51
	1	27	10000.0	799.75	399.88	Satisfied	799.75	399.88	Satisfied	0.00000403	471.053	0.9665	0.0335	1831616	0.07454	0.01318	6.836	576.50	30	17	357	746	1.629	402	38	195	72	108	26	508	265	77	398	591	53	8	4328	1128	30	865	521	1	5401	515	15	24	696	307	69	301	818	21	468	161	349	51
	1	27	10000.0	799.75	399.88	Satisfied	799.75	399.88	Satisfied	0.00000403	471.053	0.9665	0.0335	1831616	0.07454	0.01318	6.836	576.50	30	17	357	746	1.629	402	38	195	72	108	26	508	265	77	398	591	53	8	4328	1128	30	865	521	1	5401	515	15	24	696	307	69	301	818	21	468	161	349	51
	1	27	10000.0	799.75	399.88	Satisfied	799.75	399.88	Satisfied	0.00000403	471.053	0.9665	0.0335	1831616	0.07454	0.01318	6.836	576.50	30	17	357	746	1.629	402	38	195	72	108	26	508	265	77	398	591	53	8	4328	1128	30	865	521	1	5401	515	15	24	696	307	69	301	818	21	468	161	349	51
iterations	1	27	10000.0	480.95	230.47	Satisfied	480.95	230.47	Satisfied	0.000006078	4609.48	0.98045	0.0193	20631.18	0.00949	0.00710	11.861	852.74	30	17	443	353.84	1.441	672.58	338.0108	382.205196	5.811	681.04	426.1324	64.81	6	1277	722.50	21.341	0.1367	5.401	515.15	21.835.37628	61.535	132.67	487	667	774.32													
	1	27	10000.0	726.07	363.04	Satisfied	726.07	363.04	Satisfied	0.000003858	4558.478	0.9895	0.0305	17354.52	0.06897	0.01018	28.132	935.54	30	17	454	353.84	1.513	654.54	351.215708	367.787	597.80	5.994	083	404	224.425	40	770	712.58	33.61537	0.307	5.401	515.15	20.695.641	71.171	709.17	473	661	934.57												
	1	27	10000.0	748.24	374.12	Satisfied	748.24	374.12	Satisfied	0.000003744	46625.36	0.9886	0.0314	18605.74	0.07066	0.01226	7307	452.25	28.896	222.1	118.624	64.28	784.35	357.466	351.0	5.428	393.1	400	825.827	83	7	501	737.68	36.461	890.63	5.401	515.15	25.227.04802	72.777	191.48	473	663	019.31													
	1	27	10000.0	749.54	374.77	Satisfied	749.54	374.77	Satisfied	0.000003738	46625.36	0.98854	0.03146	18598.27	0.07076	0.01226	7394	452.25	28.930	635.94	118.624	64.28	784.35	357.466	351.0	5.428	393.1	400	825.827	83	7	501	737.68	36.461	890.63	5.401	515.15	25.227.04802	72.777	191.48	473	663	019.31													
	1	27	10000.0	749.54	374.77	Satisfied	749.54	374.77	Satisfied	0.000003738	46625.36	0.98854	0.03146	18598.27	0.07076	0.01226	7394	452.25	28.930	635.94	118.624	64.28	784.35	357.466	351.0	5.428	393.1	400	825.827	83	7	501	737.68	36.461	890.63	5.401	515.15	25.227.04802	72.777	191.48	473	663	019.31													
	1	27	10000.0	749.54	374.77	Satisfied	749.54	374.77	Satisfied	0.000003738	46625.36	0.98854	0.03146	18598.27	0.07076	0.01226	7394	452.25	28.930	635.94	118.624	64.28	784.35	357.466	351.0	5.428	393.1	400	825.827	83	7	501	737.68	36.461	890.63	5.401	515.15	25.227.04802	72.777	191.48	473	663	019.31													
	1	27	10000.0	749.54	374.77	Satisfied	749.54	374.77	Satisfied	0.000003738	46625.36	0.98854	0.03146	18598.27	0.07076	0.01226	7394	452.25	28.930	635.94	118.624	64.28	784.35	357.466	351.0	5.428	393.1	400	825.827	83	7	501	737.68	36.461	890.63	5.401	515.15	25.227.04802	72.777	191.48	473	663	019.31													
	1	27	10000.0	749.54	374.77	Satisfied	749.54	374.77	Satisfied	0.000003738	46625.36	0.98854	0.03146	18598.27	0.07076	0.01226	7394	452.25	28.930	635.94	118.624	64.28	784.35	357.466	351.0	5.428	393.1	400	825.827	83	7	501	737.68	36.461	890.63	5.401	515.15	25.227.04802	72.777	191.48	473	663	019.31													
	1	27	10000.0	749.54	374.77	Satisfied	749.54	374.77	Satisfied	0.000003738	46625.36	0.98854	0.03146	18598.27	0.07076	0.01226	7394	452.25	28.930	635.94	118.624	64.28	784.35	357.466	351.0	5.428	393.1	400	825.827	83	7	501	737.68	36.461	890.63	5.401	515.15	25.227.04802	72.777	191.48	473	663	019.31													
	1	27	10000.0	749.54	374.77	Satisfied	749.54	374.77	Satisfied	0.000003738	46625.36	0.98854	0.03146	18598.27	0.07076	0.01226	7394	452.25	28.930	635.94	118.624	64.28	784.35	357.466	351.0	5.428	393.1	400	825.827	83	7	501	737.68	36.461	890.63	5.401	515.15	25.227.04802	72.777	191.48	473	663	019.31													
1	27	10000.0	749.54	374.77	Satisfied	749.54	374.77	Satisfied	0.000003738	46625.36	0.98854	0.03146	18598.27	0.07076	0.01226	7394	452.25	28.930	635.94	118.624	64.28	784.35	357.466	351.0	5.428	393.1	400	825.827	83	7	501	737.68	36.461	890.63	5.401	515.15	25.227.04802	72.777	191.48	473	663	019.31														
iterations	1	27	10000.0	426.85	213.43	Satisfied	426.85	213.43	Satisfied	0.000005626	46036.97	0.98187	0.01813	22040.57	0.04454	0.00568	12.809	347.20	20.620	110.97	140.3	103.88	365.981	121	387	351.15	9.615	511.51	432	092	865.50	4	71	121	349.85	23.020	087.25	5.401	515.15	23.020.93734	62	725	884	1750.10												
	1	27	10000.0	686.10	343.05	Satisfied	686.10	343.05	Satisfied	0.000003900	46113.01	0.98187	0.01813	22040.57	0.04454	0.00568	12.809	347.20	20.620	110.97	140.3	103.88	365.981	121	387	351.15	9.615	511.51	432	092	865.50	4	71	121	349.85	23.020	087.25	5.401	515.15	23.020.93734	62	725	884	1750.10												
	1	27	10000.0	708.52	354.26	Satisfied	708.52	354.26	Satisfied	0.000003389	46552.63	0.97027	0.02131	18847.85	0.06783	0.01018	28.132	935.54	30	17	454	353.84	1.513	654.54	351.215708	367.787	597.80	5.994	083	404	224.425	40	770	712.58	33.61537	0.307	5.401	515.15	20.695.641	71.171	709.17	473	661	934.57												
	1	27	10000.0	708.52	354.26	Satisfied	708.52	354.26	Satisfied	0.000003389	46552.63	0.97027	0.02131	18847.85	0.06783	0.01018	28.132	935.54	30	17	454	353.84	1.513	654.54	351.215708	367.787	597.80	5.994	083	404	224.425	40	770	712.58	33.61537	0.307	5.401	515.15	20.695.641	71.171	709.17	473	661	934.57												
	1	27	10000.0	708.52	354.26	Satisfied	708.52	354.26	Satisfied	0.000003389	46552.63	0.97027	0.02131	18847.85	0.06783	0.01018	28.132	935.54	30	17	454	353.84	1.513	654.54	351.215708	367.787	597.80	5.994	083	404	224.425	40	770	712.58	33.61537	0.307	5.401	515.15	20.695.641	71.171	709.17	473	661	934.57												
	1	27	10000.0	708.52	354.26	Satisfied	708.52	354.26	Satisfied	0.000003389	46552.63	0.97027	0.02131	18847.85	0.06783	0.01018	28.132	935.54	30	17	454	353.84	1.513																																	

LAMPIRAN E: PERHITUNGAN MODEL III

[illegible]

Iterations	i	j	k	L	M	N	Q		R		S		T		U		V		W		X		Y		Z		AA		AB		AC		AD		AE		AF		AG		AH		AI		AJ		AK		AL		AM		AN		AO		AP		AQ		AR		AS		AT		AU		AV		AW		AX		AY		AZ		BA		BB		BC		BD		BE		BF		BG		BH		BI		BJ		BK		BL		BM		BN		BO		BP		BQ		BR		BS		BT		BU		BV		BW		BX		BY		BZ		CA		CB		CC		CD		CE		CF		CG		CH		CI		CJ		CK		CL		CM		CN		CO		CP		CQ		CR		CS		CT		CU		CV		CW		CX		CY		CZ		DA		DB		DC		DD		DE		DF		DG		DH		DI		DJ		DK		DL		DM		DN		DO		DP		DQ		DR		DS		DT		DU		DV		DW		DX		DY		DZ		EA		EB		EC		ED		EE		EF		EG		EH		EI		EJ		EK		EL		EM		EN		EO		EP		EQ		ER		ES		ET		EU		EV		EW		EX		EY		EZ		FA		FB		FC		FD		FE		FF		FG		FH		FI		FJ		FK		FL		FM		FN		FO		FP		FQ		FR		FS		FT		FU		FV		FW		FX		FY		FZ		GA		GB		GC		GD		GE		GF		GG		GH		GI		GJ		GK		GL		GM		GN		GO		GP		GQ		GR		GS		GT		GU		GV		GW		GX		GY		GZ		HA		HB		HC		HD		HE		HF		HG		HH		HI		HJ		HK		HL		HM		HN		HO		HP		HQ		HR		HS		HT		HU		HV		HW		HX		HY		HZ		IA		IB		IC		ID		IE		IF		IG		IH		IJ		IK		IL		IM		IN		IO		IP		IQ		IR		IS		IT		IU		IV		IW		IX		IY		IZ		JA		JB		JC		JD		JE		JF		JG		JH		JI		JJ		JK		JL		JM		JN		JO		JP		JQ		JR		JS		JT		JU		JV		JW		JX		JY		JZ		KA		KB		KC		KD		KE		KF		KG		KH		KI		KJ		KL		KM		KN		KO		KP		KQ		KR		KS		KT		KU		KV		KW		KX		KY		KZ		LA		LB		LC		LD		LE		LF		LG		LH		LI		LJ		LK		LM		LN		LO		LP		LQ		LR		LS		LT		LU		LV		LW		LX		LY		LZ		MA		MB		MC		MD		ME		MF		MG		MH		MI		MJ		MK		ML		MN		MO		MP		MQ		MR		MS		MT		MU		MV		MW		MX		MY		MZ		NA		NB		NC		ND		NE		NF		NG		NH		NI		NJ		NK		NL		NM		NN		NO		NP		NQ		NR		NS		NT		NU		NV		NW		NX		NY		NZ		OA		OB		OC		OD		OE		OF		OG		OH		OI		OJ		OK		OL		OM		ON		OO		OP		OQ		OR		OS		OT		OU		OV		OW		OX		OY		OZ		PA		PB		PC		PD		PE		PF		PG		PH		PI		PJ		PK		PL		PM		PN		PO		PP		PQ		PR		PS		PT		PU		PV		PW		PX		PY		PZ		QA		QB		QC		QD		QE		QF		QG		QH		QI		QJ		QK		QL		QM		QN		QO		QP		QQ		QR		QS		QT		QU		QV		QW		QX		QY		QZ		RA		RB		RC		RD		RE		RF		RG		RH		RI		RJ		RK		RL		RM		RN		RO		RP		RQ		RR		RS		RT		RU		RV		RW		RX		RY		RZ		SA		SB		SC		SD		SE		SF		SG		SH		SI		SJ		SK		SL		SM		SN		SO		SP		SQ		SR		SS		ST		SU		SV		SW		SX		SY		SZ		TA		TB		TC		TD		TE		TF		TG		TH		TI		TJ		TK		TL		TM		TN		TO		TP		TQ		TR		TS		TT		TU		TV		TW		TX		TY		TZ		UA		UB		UC		UD		UE		UF		UG		UH		UI		UJ		UK		UL		UM		UN		UO		UP		UQ		UR		US		UT		UU		UV		UW		UX		UY		UZ		VA		VB		VC		VD		VE		VF		VG		VH		VI		VJ		VK		VL		VM		VN		VO		VP		VQ		VR		VS		VT		VU		VV		VW		VX		VY		VZ		WA		WB		WC		WD		WE		WF		WG		WH		WI		WJ		WK		WL		WM		WN		WO		WP		WQ		WR		WS		WT		WU		WV		WW		WX		WY		WZ		XA		XB		XC		XD		XE		XF		XG		XH		XI		XJ		XK		XL		XM		XN		XO		XP		XQ		XR		XS		XT		XU		XV		XW		XX		XY		XZ		YA		YB		YC		YD		YE		YF		YG		YH		YI		YJ		YK		YL		YM		YN		YO		YP		YQ		YR		YS		YT		YU		YV		YW		YX		YY		YZ		ZA		ZB		ZC		ZD		ZE		ZF		ZG		ZH		ZI		ZJ		ZK		ZL		ZM		ZN		ZO		ZP		ZQ		ZR		ZS		ZT		ZU		ZV		ZW		ZX		ZY		ZZ	
							Q ⁰ Before	Q ¹ After	Q ² Before	Q ³ After	Q ⁴ Before	Q ⁵ After	Q ⁶ Before	Q ⁷ After	Q ⁸ Before	Q ⁹ After	Q ¹⁰ Before	Q ¹¹ After	Q ¹² Before	Q ¹³ After	Q ¹⁴ Before	Q ¹⁵ After	Q ¹⁶ Before	Q ¹⁷ After	Q ¹⁸ Before	Q ¹⁹ After	Q ²⁰ Before	Q ²¹ After	Q ²² Before	Q ²³ After	Q ²⁴ Before	Q ²⁵ After	Q ²⁶ Before	Q ²⁷ After	Q ²⁸ Before	Q ²⁹ After	Q ³⁰ Before	Q ³¹ After	Q ³² Before	Q ³³ After	Q ³⁴ Before	Q ³⁵ After	Q ³⁶ Before	Q ³⁷ After	Q ³⁸ Before	Q ³⁹ After	Q ⁴⁰ Before	Q ⁴¹ After	Q ⁴² Before	Q ⁴³ After	Q ⁴⁴ Before	Q ⁴⁵ After	Q ⁴⁶ Before	Q ⁴⁷ After	Q ⁴⁸ Before	Q ⁴⁹ After	Q ⁵⁰ Before	Q ⁵¹ After	Q ⁵² Before	Q ⁵³ After	Q ⁵⁴ Before	Q ⁵⁵ After	Q ⁵⁶ Before	Q ⁵⁷ After	Q ⁵⁸ Before	Q ⁵⁹ After	Q ⁶⁰ Before	Q ⁶¹ After	Q ⁶² Before	Q ⁶³ After	Q ⁶⁴ Before	Q ⁶⁵ After	Q ⁶⁶ Before	Q ⁶⁷ After	Q ⁶⁸ Before	Q ⁶⁹ After	Q ⁷⁰ Before	Q ⁷¹ After	Q ⁷² Before	Q ⁷³ After	Q ⁷⁴ Before	Q ⁷⁵ After	Q ⁷⁶ Before	Q ⁷⁷ After	Q ⁷⁸ Before	Q ⁷⁹ After	Q ⁸⁰ Before	Q ⁸¹ After	Q ⁸² Before	Q ⁸³ After	Q ⁸⁴ Before	Q ⁸⁵ After	Q ⁸⁶ Before	Q ⁸⁷ After	Q ⁸⁸ Before	Q ⁸⁹ After	Q ⁹⁰ Before	Q ⁹¹ After	Q ⁹² Before	Q ⁹³ After	Q ⁹⁴ Before	Q ⁹⁵ After	Q ⁹⁶ Before	Q ⁹⁷ After	Q ⁹⁸ Before	Q ⁹⁹ After	Q ¹⁰⁰ Before	Q ¹⁰¹ After	Q ¹⁰² Before	Q ¹⁰³ After	Q ¹⁰⁴ Before	Q ¹⁰⁵ After	Q ¹⁰⁶ Before	Q ¹⁰⁷ After	Q ¹⁰⁸ Before	Q ¹⁰⁹ After	Q ¹¹⁰ Before	Q ¹¹¹ After	Q ¹¹² Before	Q ¹¹³ After	Q ¹¹⁴ Before	Q ¹¹⁵ After	Q ¹¹⁶ Before	Q ¹¹⁷ After	Q ¹¹⁸ Before	Q ¹¹⁹ After	Q ¹²⁰ Before	Q ¹²¹ After	Q ¹²² Before	Q ¹²³ After	Q ¹²⁴ Before	Q ¹²⁵ After	Q ¹²⁶ Before	Q ¹²⁷ After	Q ¹²⁸ Before	Q ¹²⁹ After	Q ¹³⁰ Before	Q ¹³¹ After	Q ¹³² Before	Q ¹³³ After	Q ¹³⁴ Before	Q ¹³⁵ After	Q ¹³⁶ Before	Q ¹³⁷ After	Q ¹³⁸ Before	Q ¹³⁹ After	Q ¹⁴⁰ Before	Q ¹⁴¹ After	Q ¹⁴² Before	Q ¹⁴³ After	Q ¹⁴⁴ Before	Q ¹⁴⁵ After	Q ¹⁴⁶ Before	Q ¹⁴⁷ After	Q ¹⁴⁸ Before	Q ¹⁴⁹ After	Q ¹⁵⁰ Before	Q ¹⁵¹ After	Q ¹⁵² Before	Q ¹⁵³ After	Q ¹⁵⁴ Before	Q ¹⁵⁵ After	Q ¹⁵⁶ Before	Q ¹⁵⁷ After	Q ¹⁵⁸ Before	Q ¹⁵⁹ After	Q ¹⁶⁰ Before	Q ¹⁶¹ After	Q ¹⁶² Before	Q ¹⁶³ After	Q ¹⁶⁴ Before	Q ¹⁶⁵ After	Q ¹⁶⁶ Before	Q ¹⁶⁷ After	Q ¹⁶⁸ Before	Q ¹⁶⁹ After	Q ¹⁷⁰ Before	Q ¹⁷¹ After	Q ¹⁷² Before	Q ¹⁷³ After	Q ¹⁷⁴ Before	Q ¹⁷⁵ After	Q ¹⁷⁶ Before	Q ¹⁷⁷ After	Q ¹⁷⁸ Before	Q ¹⁷⁹ After	Q ¹⁸⁰ Before	Q ¹⁸¹ After	Q ¹⁸² Before	Q ¹⁸³ After	Q ¹⁸⁴ Before	Q ¹⁸⁵ After	Q ¹⁸⁶ Before	Q ¹⁸⁷ After	Q ¹⁸⁸ Before	Q ¹⁸⁹ After	Q ¹⁹⁰ Before	Q ¹⁹¹ After	Q ¹⁹² Before	Q ¹⁹³ After	Q ¹⁹⁴ Before	Q ¹⁹⁵ After	Q ¹⁹⁶ Before	Q ¹⁹⁷ After	Q ¹⁹⁸ Before	Q ¹⁹⁹ After	Q ²⁰⁰ Before	Q ²⁰¹ After	Q ²⁰² Before	Q ²⁰³ After	Q ²⁰⁴ Before	Q ²⁰⁵ After	Q ²⁰⁶ Before	Q ²⁰⁷ After	Q ²⁰⁸ Before	Q ²⁰⁹ After	Q ²¹⁰ Before	Q ²¹¹ After	Q ²¹² Before	Q ²¹³ After	Q ²¹⁴ Before	Q ²¹⁵ After	Q ²¹⁶ Before	Q ²¹⁷ After	Q ²¹⁸ Before	Q ²¹⁹ After	Q ²²⁰ Before	Q ²²¹ After	Q ²²² Before	Q ²²³ After	Q ²²⁴ Before	Q ²²⁵ After	Q ²²⁶ Before	Q ²²⁷ After	Q ²²⁸ Before	Q ²²⁹ After	Q ²³⁰ Before	Q ²³¹ After	Q ²³² Before	Q ²³³ After	Q ²³⁴ Before	Q ²³⁵ After	Q ²³⁶ Before	Q ²³⁷ After	Q ²³⁸ Before	Q ²³⁹ After	Q ²⁴⁰ Before	Q ²⁴¹ After	Q ²⁴² Before	Q ²⁴³ After	Q ²⁴⁴ Before	Q ²⁴⁵ After	Q ²⁴⁶ Before	Q ²⁴⁷ After	Q ²⁴⁸ Before	Q ²⁴⁹ After	Q ²⁵⁰ Before	Q ²⁵¹ After	Q ²⁵² Before	Q ²⁵³ After	Q ²⁵⁴ Before	Q ²⁵⁵ After	Q ²⁵⁶ Before	Q ²⁵⁷ After	Q ²⁵⁸ Before	Q ²⁵⁹ After	Q ²⁶⁰ Before	Q ²⁶¹ After	Q ²⁶² Before	Q ²⁶³ After	Q ²⁶⁴ Before	Q ²⁶⁵ After	Q ²⁶⁶ Before	Q ²⁶⁷ After	Q ²⁶⁸ Before	Q ²⁶⁹ After	Q ²⁷⁰ Before	Q ²⁷¹ After	Q ²⁷² Before	Q ²⁷³ After	Q ²⁷⁴ Before	Q ²⁷⁵ After	Q ²⁷⁶ Before	Q ²⁷⁷ After	Q ²⁷⁸ Before	Q ²⁷⁹ After	Q ²⁸⁰ Before	Q ²⁸¹ After	Q ²⁸² Before	Q ²⁸³ After	Q ²⁸⁴ Before	Q ²⁸⁵ After	Q ²⁸⁶ Before	Q ²⁸⁷ After	Q ²⁸⁸ Before	Q ²⁸⁹ After	Q ²⁹⁰ Before	Q ²⁹¹ After	Q ²⁹² Before	Q ²⁹³ After	Q ²⁹⁴ Before	Q ²⁹⁵ After	Q ²⁹⁶ Before	Q ²⁹⁷ After	Q ²⁹⁸ Before	Q ²⁹⁹ After	Q ³⁰⁰ Before	Q ³⁰¹ After	Q ³⁰² Before	Q ³⁰³ After	Q ³⁰⁴ Before	Q ³⁰⁵ After	Q ³⁰⁶ Before	Q ³⁰⁷ After	Q ³⁰⁸ Before	Q ³⁰⁹ After	Q ³¹⁰ Before	Q ³¹¹ After	Q ³¹² Before	Q ³¹³ After	Q ³¹⁴ Before	Q ³¹⁵ After	Q ³¹⁶ Before	Q ³¹⁷ After	Q ³¹⁸ Before	Q ³¹⁹ After	Q ³²⁰ Before	Q ³²¹ After	Q ³²² Before	Q ³²³ After	Q ³²⁴ Before	Q ³²⁵ After	Q ³²⁶ Before	Q ³²⁷ After	Q ³²⁸ Before	Q ³²⁹ After	Q ³³⁰ Before	Q ³³¹ After	Q ³³² Before	Q ³³³ After	Q ³³⁴ Before	Q ³³⁵ After	Q ³³⁶ Before	Q ³³⁷ After	Q ³³⁸ Before	Q ³³⁹ After	Q ³⁴⁰ Before	Q ³⁴¹ After	Q ³⁴² Before	Q ³⁴³ After	Q ³⁴⁴ Before	Q ³⁴⁵ After	Q ³⁴⁶ Before	Q ³⁴⁷ After	Q ³⁴⁸ Before	Q ³⁴⁹ After	Q ³⁵⁰ Before	Q ³⁵¹ After	Q ³⁵² Before	Q ³⁵³ After	Q ³⁵⁴ Before	Q ³⁵⁵ After	Q ³⁵⁶ Before	Q ³⁵⁷ After	Q ³⁵⁸ Before	Q ³⁵⁹ After	Q ³⁶⁰ Before	Q ³⁶¹ After	Q ³⁶² Before	Q ³⁶³ After	Q ³⁶⁴ Before	Q ³⁶⁵ After	Q ³⁶⁶ Before	Q ³⁶⁷ After	Q ³⁶⁸ Before	Q ³⁶⁹ After	Q ³⁷⁰ Before	Q ³⁷¹ After	Q ³⁷² Before	Q ³⁷³ After	Q ³⁷⁴ Before	Q ³⁷⁵ After	Q ³⁷⁶ Before	Q ³⁷⁷ After	Q ³⁷⁸ Before	Q ³⁷⁹ After	Q ³⁸⁰ Before	Q ³⁸¹ After	Q ³⁸² Before	Q ³⁸³ After	Q ³⁸⁴ Before	Q ³⁸⁵																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		



**KARTU BIMBINGAN DAN KONSULTASI TESIS
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM MAGISTER**

Nama Mahasiswa : Novrianty Rizky
Nomor Induk Mahasiswa : 19916028
Nama Pembimbing 1 : M. Ridwan Andi P, ST., M.SC., Ph.D
Nama Pembimbing 2 : -
Judul Tesis : Model Joint Economic Lot Size Untuk Sistem Produksi Tidak Sempurna Dengan Permintaan Probabilistik, Percepatan Lead-Time, Dan Layanan Pick-Up (Studi Kasus: PT. El-Rahma Batik & Titin Batik)
Tanggal Ujian Proposal : 16 Juli 2021

No	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf Pembimbing
1.	29-06-2021	Bimbingan Proposal I	
2.	30-06-2021	Bimbingan Proposal II	
3.	01-07-2021	Bimbingan Proposal III	
4.	21-08-2021	Bimbingan Bab I, Bab II, dan Bab III Tesis	
5.	03-10-2021	Bimbingan Bab IV Tesis	
6.	22-10-2021	Bimbingan Bab I, Bab II, Bab III, dan Bab IV Tesis	
7.	30-11-2021	Bimbingan Paper Conference VCCEM	
8.	07-12-2021	Bimbingan Bab V, dan Bab VI Tesis	
9.	22-12-2021	Bimbingan Bab V, dan Bab VI Tesis	

Disetujui Tanggal
22/12/2021
(Tanggal/Bulan/Tahun)

Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
(M. Ridwan Andi P, ST., M.SC., Ph.D) Nama dan tanda tangan	(-----) Nama dan tanda tangan

Catatan :

- Form ini harus selalu dibawa saat konsultasi/bimbingan
- Form ini harus dilampirkan sebagai syarat mengajukan ujian tesis.
- Minimum konsultasi/bimbingan sebanyak 8 x
- Form bimbingan dapat diperbanyak